Bayerische StaatsBibliothek
Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Fischer, Ernst Gottfried,

Lehrbuch der mechanischen Naturlehre

Bd.: 2

Berlin [u.a.] 1819

Bibl.Mont. 3667-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb10723375-6

667 Bibl. Mont -2

Oppersdorff

Hofwyl M. Montgelas
beim Abgang der Obrigen
den 9t Aug 1822. —

<36636493800015

<36636493800015

Bayer. Staatsbibliothek

Lehrbuch

der

mechanischen Naturlehre

von

Ernst Gottfried Fischer.

Bayerische Staatsbibliothek München

Zweiter Theil,

welcher die Lehre von der Elektricität, von der magnetischen Kraft und von dem Lichte enthält.

Zweite vermehrte und verbesserte Auflage.

Berlin und Leipzig,
im Verlage der G. C. Nauckschen Buchhandlung.
1819.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Sechster Abschnitt.

Von der Elektricität.

Zweiunddreißigstes Capitel.

Von der Elektrisir-Maschine und den allgemeinen Eigenschaften der Elektricität.

§. 1.

Daß der Bernstein (den die Griechen ἤλεκτρον, die Lateiner Succinum nannten) wenn er gerieben wird, kleine Körper anziehe, war schon den Alten bekannt; aber man ahnete nicht, daß diese Erscheinung die Wirkung einer sehr merkwürdigen und weit verbreiteten Naturkraft sey. Erst im 17ten Jahrhundert entdeckte man, daß auch Schwefel, alle Harze, Glas und viele andere Körper eben diese Eigenschaft besitzen. Aber der Erfinder der Luftpumpe, Otto Guericke, war es, der den physikalischen Apparat noch mit einer zweiten höchst wichtigen Maschine, mit der Elektrisir-Maschine bereicherte. Die Gränzen ei-

nes Grundrisses erlauben weder die ursprüngliche Einrichtung dieser Maschine, noch die mannichfaltigen Abänderungen, wodurch man sie nach und nach verbessert hat, zu beschreiben. Wer hierüber Belehrung wünscht, kann sie in den phys. Wörterbüchern, unter dem Artikel Elektrisir-Maschine finden. Wir müssen uns begnügen, das Wesentlichste von derjenigen Einrichtung anzugeben, welche man jetzt für die beste hält.

§. 2.

Die beiden wesentlichsten Theile sind, der geriebene Körper, und der reibende, oder das Reibezeug.

Der geriebene Körper ist jetzt gewöhnlich eine runde Tafel von geschliffenem Spiegelglas; je größer, desto besser. Doch bedient man sich statt derselben häufig auch einer Kugel, oder eines Cylinders von Glas. Durch die Mitte der Scheibe geht eine metallene oder gläserne Achse, die in einem hölzernen Gestell so befestigt ist, daß sie nebst der Scheibe vermittelst einer Kurbel umgedreht werden kann.

Das Reibezeug besteht jetzt gewöhnlich aus zwei oder vier länglichen Kissen, welche durch Federn nahe beim Umfang der Scheibe an beiden Seiten des Glases Paarweise angedrückt werden. Die Grundfläche der Kissen ist eine Metallplatte; sie sind mit Haaren ausgestopft, und mit Leder überzogen. Die Fläche des Leders wird mit etwas

Lehrbuch

der

mechanischen Naturlehre

von

Ernst Gottfried Fischer.

Bayerische Staatsbibliothek München

Zweiter Theil,

welcher die Lehre von der Elektricität, von der magnetischen Kraft und von dem Lichte enthält.

Zweite vermehrte und verbesserte Auflage.

Berlin und Leipzig,
im Verlage der G. C. Nauckschen Buchhandlung.
1819.

2) Nähert man die Hand, oder die Stirne allmählig der Scheibe, so zeigt sich in einer gewissen Entfernung ein Gefühl, als ob Spinneweben den Körper berührten.

3) Nähert man den Knöchel eines Fingers, oder eine Metallkugel der Scheibe, so sprüht ein kleiner knisternder Funke heraus, der eine schwache stechende Empfindung erregt.

4) Im Dunkeln ist diese Lichterscheinung viel auffallender, und es strömen, während dem Umdrehen Feuerstrahlen unter dem Wachstaffent des Reibezeugs hervor in die Luft.

5) Hält man mit Umdrehen inne, so dauern alle diese Erscheinungen, doch mit sichtbar abnehmender Stärke, eine Zeitlang fort. Es läßt sich aber jetzt die in vieler Rücksicht merkwürdigste elektrische Erscheinung, das elektrische Anziehen und Abstoßen, bemerklich machen. Die Scheibe zieht jetzt alle Arten kleiner und leichter Körperchen an, hält sie eine Zeitlang fest, und stößt sie dann wieder ab. Am lehrreichsten wird diese Erscheinung, wenn man Korkkügelchen an Fäden hängend der Scheibe nähert. Ist der Faden von reiner trockner Seide, so wird das Kügelchen angezogen, hängt eine kurze Zeit an der Scheibe, und wird dann abgestoßen. Dieß Abstoßen ist fortdauernd; berührt man aber das Kügelchen, so wird es von neuem angezogen und abgestoßen. Ist hingegen der Faden leinen, besonders feucht,

so wird zwar das Kügelchen angezogen, aber nicht abgestoßen.

§. 4.

Wenn ein Körper diese Erscheinungen, oder auch nur die letzte zeigt, so sagt man, er sey elektrisch, oder elektrisirt; und den unbekannten Stoff, der diese Erscheinung hervorbringt, nennt man die elektrische Materie.

§. 5.

Es ist noch ein Haupttheil der Elektrisir-Maschine zu erwähnen, der Conductor, oder erste Leiter. Es ist ein Körper, der entweder ganz von Metall ist, oder wenigstens einen metallnen Ueberzug hat, wäre er auch nur von Gold- oder Silberpapier. In der Größe und Gestalt ist viel willkührliches. Man giebt ihm gewöhnlich die Gestalt eines an beiden Enden abgerundeten Cylinders, oder auch einer Kugel. Für eine zweifüßige Scheibe macht man ihn etwa 3 Fuß lang, und giebt ihm einen Durchmesser von 5 bis 6 Zoll. Mit der Scheibe steht er durch ein Paar runde metallne Arme in Verbindung, die der Scheibe, an den Stellen, wo die erregte Elektricität unter dem Wachstaffent hervorströmt, einige Spitzen ungefähr in der Entfernung von einem halben Zoll zukehren. Sonst müssen alle Spitzen und vorspringende Ekken an ihm sorgfältig vermieden werden. Die Arme müssen so eingerichtet seyn, daß man sie abnehmen, und zu einem in der Folge zu bestimmen-

den Gebrauch mit andern vertauschen kann, welche den Conductor, statt der Scheibe, mit dem Reibezeug in Verbindung setzen. Ein Hauptumstand ist, daß er auf gläsernen Füßen stehen, und mit dem übrigen Gestell der Maschine weiter gar keine Verbindung haben muß.

§. 6.

Sobald die Scheibe gedreht wird, zeigt sich der Conductor in seinem ganzen Umfang in gleichem Grade elektrisch, mit allen §. 3. erwähnten Erscheinungen. Nur bei dem Funkenziehen zeigt sich der Unterschied, daß der Funke größer, mehr knisternd und stechender ist; auch zeigt er sich schon in der Entfernung von mehreren Zollen, besonders wenn die Luft recht trocken ist. Der merkwürdigste Unterschied ist, daß durch einen einzigen solchen Funken der ganze Conductor auf einmal aller seiner Elektricität beraubt wird; da hingegen die Scheibe ihre Elektricität immer nur auf der Stelle verliert, wo ein Funke gezogen wird. Verbindet man den Conductor durch eine Drahtkette mit dem Hauptgestell der Maschine, oder dem Erdboden, so zeigt er beim Umdrehen der Scheibe nicht die geringste Elektricität.

§. 7.

Diese Versuche zeigen sehr deutlich das verschiedene Verhalten des Glases und des Metalls gegen die Elektricität. Das Glas wird durch das Reiben elektrisch, hält aber die auf seiner Ober-

fläche gehäufte Elektricität fest, und läßt sie nur an der Stelle fahren, wo man sie berührt. Das Metall hingegen wird durch Reiben nicht elektrisch, nimmt aber, wenn es auf Glas ruht, die Elektricität augenblicklich in seinem ganzen Umfange an, läßt sie aber auch augenblicklich wieder fahren, wenn ihm der Finger, oder ein anderer, besonders metallischer Körper dargeboten wird.

Man sieht hieraus, warum der Conductor auf Glas ruhen muß, und warum er nicht elektrisch wird, wenn er in einer metallischen Verbindung mit der Erde steht. Metall leitet die elektrische Materie ab, Glas nicht.

§. 8.

Glas und Metall sind nicht die einzigen Körper, die dieses Verhalten in Ansehung der Elektricität zeigen; sie sind nur die besten in ihrer Art. Man theilt daher die Körper in Nichtleiter und Leiter der Elektricität.

Zu der ersten Klasse gehören: — a) aus dem anorganischen Naturreich, das gemeine Glas, und alle Verglasungen, nebst ihren wesentlichen chemischen Bestandtheilen, Erden und Metalloxyden; ferner die natürlichen Krystallisationen der zuletzt genannten Stoffe, also besonders alle Edelsteine, und fast alle harte Steinarten, die wahrscheinlich nur Conglomerate kleiner Krystalle sind. Ferner gehören hierher der Schwefel und die atmosphärische Luft. Doch zeigt die letzte immer einige bald

schwächere, bald stärkere leitende Kraft, die von ihrer veränderlichen chemischen Mischung, besonders von ihrem Wassergehalt herrührt. — b) Die meisten trocknen Stoffe aus dem Thierreich, besonders Seide, Wolle, Haare, Federn. — c) Sehr viele trockne Stoffe aus dem Pflanzenreich: ganz besonders alle Harze und harzige Mischungen (als Siegellack), auch Bernstein; ferner Baumwolle, Papier, Zucker, getrocknetes Holz, besonders wenn es am Feuer gedörrt ist; auch das fette Oel gehört hierher. — Es ist indessen unter allen diesen Körpern keiner, der nicht in einem gewissen Grad die Elektricität leitete. Die besten Nichtleiter sind: Glas, Schwefel, Harz, Siegellack, Seide; die übrigen genannten sind größtentheils nur schlechte Nichtleiter.

Die besten Leiter sind aus der anorganischen Natur, die Metalle, das Wasser und die Kohle. Aus der organischen Natur, der lebende thierische und Pflanzenkörper; alle Gummata, auch die von allen harzigen und öligen Theilen befreite Pflanzenfaser scheint ein ziemlich guter Leiter zu seyn, wenigstens ist es das Leinenzeug; und Holz, Baumwolle, Papier rc. nähern sich vielleicht bloß durch ihren Harz- und Oelgehalt den Nichtleitenden.

Man nennt die Nichtleiter auch schlechthin elektrische oder ursprünglich elektrische Körper; und die Leiter unelektrische Körper. Benennungen, die nicht gut gewählt sind.

Anm. Es ist aus vielen Ursachen zu wünschen, daß gründliche Chemiker anfangen mögen, sich mit der Elektricität zu beschäftigen. Die obige Zusammenstellung der leitenden und nicht leitenden Körper läßt vermuthen, daß zwischen den elektrischen Eigenschaften, und der chemischen Mischung der Körper ein gewisser Zusammenhang sey, den der bloß mechanische Physiker nicht auffinden wird.

Diese Hoffnung ist, seit der Erscheinung der ersten Ausgabe, schon zum Theil in Erfüllung gegangen, indem Davy, vermittelst der Volta'schen Säule, von welcher im letzten Capitel dieses Abschnitts die Rede ist, die feuerbeständigen Alkalien und Erden zersetzt, und uns in ihren metallähnlichen Grundlagen eine ganz neue, sehr merkwürdige Art von Stoffen kennen gelehrt hat.

§. 9.

Einen Körper isoliren, heißt ihn mit der übrigen sichtbaren Körperwelt, bloß durch Nichtleiter in Verbindung setzen. Man hat allerlei isolirende Gestelle, an welche man Körper hängen, legen, stellen, befestigen kann. Ein solches Gestell nennt man ein Isolatorium. Die besten Materialien zum Isoliren, sind: Glas, Siegellack, Seide, Holz, welches an Feuer gedörrt ist, und gute Firnisse von Bernstein, Schell-Lack rc.

§. 10.

Vergleicht man die Erscheinungen des Anziehens und Abstoßens (§. 3. u. 5.) mit dem, was über das Leitungsvermögen der Körper gesagt worden, so ergiebt sich daraus ein wichtiges Grundgesetz der elektrischen Erscheinungen:

daß elektrische und unelektrische, oder vielmehr ungleich elektrische Körper einander anziehen, gleich stark elektrische hingegen einander abstoßen.

Die Korkkugel an dem nichtleitenden seidenen Faden wird angezogen, wenn sie nicht elektrisch ist; sie wird abgestoßen, sobald sie sich mit Elektricität gesättigt hat; und dieß Abstoßen dauert fort, bis sie durch die Berührung mit einem Leiter ihre Elektricität wieder verlohren hat. Hängt sie hingegen an einem leinenen, also leitenden Faden, so kann sie sich nicht mit Elektricität sättigen, und wird daher fortdauernd angezogen.

§. 11.

Auf dem elektrischen Anziehen und Abstoßen, beruhen fast alle Arten von Elektroskopen und Elektrometern. Instrumente, welche den Zweck haben, die Stärke der Elektricität zu schätzen, oder zu messen, aber größtentheils diesen Zweck nur sehr unvollständig erfüllen. Sie sind indessen bei den meisten Versuchen unentbehrlich, und wir müssen daher gleich anfänglich einige Nachricht von ihnen geben.

Das einfachste Instrument dieser Art ist das Faden-Elektroskop. Zwei kleine Kugeln von Kork oder Holundermark werden an beiden Enden eines leinenen Fadens befestigt. Man hängt sie an dem Conductor, oder an einem andern elektrisirten Körper so auf, daß sie neben einander hän-

gen. Sie stoßen einander ab, sobald sie elektrisch werden, und gehen desto stärker auseinander, je stärker die Elektricität ist. Man macht dieses Elektroskop von sehr verschiedener Größe; für schwache Grade der Elektricität, sehr klein. Die meisten Arten von Elektroskopen sind nur verbesserte Einrichtungen von diesem. Die Gränzen eines Grundrisses verstatten aber nicht alle diese Abänderungen einzeln zu beschreiben, auch würde sich der Grund mancher Einrichtungen hier nicht deutlich machen lassen. Als vorzüglich brauchbar nennen wir bloß: Cavallo's Flascheneléktroskop, de Saussure'ns Luftelektrometer, Bennet's Goldblättchen-Elektrometer, und Volta's Strohhalm-Elektrometer. M. vergl. Gehler und Fischer in den Artikeln Elektrometer und Luftelektrometer.

Nur Henly's Quadrant-Elektrometer dürfen wir nicht übergehen, indem man es als eine wesentliche Zubehör einer Elektrisir-Maschine ansehen muß. Ein halber oder Viertel-Kreis von beliebiger Materie (am besten Glas) ist in Grade eingetheilt, und mit seinem Durchmesser an einer lothrechten runden Säule von (nicht gedörrtem) Holz, oder Metall befestigt, doch so, daß sein Mittelpunkt ein wenig von der Säule absteht, der Durchmesser aber der Säule parallel bleibt. Im Centrum ist ein kleines, sehr bewegliches Pendel befestigt, das etwa aus einem Faden von Fischbein bestehen kann, und unten eine kleine Korkkugel

trägt. Die Säule, welche unterwärts beträchtlich länger, als das Pendel ist, kann auf den Conductor lothrecht aufgeschraubt, oder auch vermittelst eines besondern metallnen Fußes, der sich abnehmen läßt, auf andere Flächen lothrecht aufgestellt werden. Steht dieses Elektrometer auf dem Conductor, so nimmt es die Elektricität desselben an, und da das Pendel und die Säule gleich stark elektrisch werden, so wird das Pendel von der Säule abgestoßen, und steigt an dem getheilten Kreise desto höher, je stärker die Elektricität ist. Gehler I. 808. Fischer II. 79.

Anm. Zu den bloß belustigenden elektrischen Versuchen, die auf dem Anziehen und Abstoßen beruhen, gehört der elektrische Tanz, Gehler I. 740, und das elektrische Glockenspiel, Gehler II. 509.

§. 12.

Es hängt aber das Leitungsvermögen der Körper nicht bloß von ihrer materiellen Beschaffenheit, sondern auch von ihrer Gestalt ab. Man nähere einen sehr zugespitzten Körper, von Metall, dem Conductor, während die Scheibe gedreht wird, so wird man schon in einer beträchtlichen Entfernung die ableitende Kraft desselben wahrnehmen. Auch zeigt sich die ableitende Kraft, wenn man eine Spitze so an dem Conductor befestigt, daß die Spitze abwärts gegen die Luft gekehrt ist; man wird alsdann nicht im Stande seyn, den Conductor in einem beträchtlichen Grad zu elektrisiren.

Je abgerundeter und breiter dagegen die Körper sind, desto mehr wird der Uebergang der elektrischen Materie erschwert. Die Körper müssen einander viel näher gebracht werden, und der Uebergang geschieht vermittelst eines schlagenden Funkens.

§. 13.

Mit dem Ausströmen der Elektricität aus Spitzen ist allezeit eine Bewegung der Luft verbunden, die man fühlen, oder auch dem Auge durch eine Lichtflamme, oder durch Rauch bemerklich machen kann. Auf dieser Bewegung der Luft beruht das sogenannte elektrische Rad. Es besteht in einem nach der Gestalt eines großen lateinischen S gebogenen und an beiden Enden scharf zugespitzten Streifen Messing, der in der Mitte nach Art einer Magnetnadel auf einer einzigen Spitze umläuft. Wird diese Spitze auf den Conductor geschraubt, und das Rad aufgesetzt, so läuft es sehr schnell rückwärts um, wenn der Conductor elektrisirt wird.

Ein bemerkenswerther Umstand hierbei ist es, daß die Bewegung der Luft in jedem Fall von der Spitze abwärts geht, welches ohne Zweifel daher rührt, daß die Lufttheilchen, welche mit dem zugespitzten Körper in Berührung sind, abgestoßen werden, sobald sie gleiche Elektricität mit dem Conductor erhalten haben.

§. 14.

So wie man die Elektricität der Scheibe dem ersten Conductor mittheilen kann, so kann man sie von diesem wieder jedem andern Leiter mittheilen, wenn er isolirt ist. So kann z. B. ein Mensch elektrisirt werden, wenn er auf einem Isolatorium (zu diesem Zweck einem Brett mit gläsernen Füßen) steht. Sein Körper zeigt dann alle elektrischen Erscheinungen, ohne daß eine besondere Wirkung auf den Körper, oder auch nur ein besonderes Gefühl (außer einem Stechen, wenn man Funken aus ihm zieht) bemerklich würde.

Hierauf beruht eine kleine elektrische Geräthschaft, welche bei vielen Versuchen, besonders bei dem Gebrauch empfindlicher Elektrometer, denen man nur sehr geringe Grade von Elektricität mittheilen darf, unentbehrlich ist. An eine dünne 5 bis 6 Zoll lange Glasröhre, die mit Siegellack, oder Firniß überzogen seyn kann, und deren unteres Ende zugeschmolzen ist, wird oben eine lange Stecknadel, oder auch ein kurzes Stück Draht queer herüber befestigt, so daß es gegen die Glasröhre die Gestalt eines T hat. Hält man das spitze Ende dieses Drahtes an einen Conductor, oder andern elektrisirten Körper, so nimmt er nach Verhältniß seiner Größe, eine geringere oder größere Menge von Elektricität an, die aber, weil sie isolirt ist, nur sehr langsam abströmen kann. Bringt man aber diesen Draht an einen leitenden

Körper, z. B. an den Knopf eines Elektrometers, so geht die Elektricität größtentheils in diesen über, und bringt die Fäden oder Strohhalme zum Auseinandergehn. Ich nenne dieses kleine Instrument einen elektrischen **Ueberträger**. Man thut wohl sich mit mehrern zu versehen, indem man dem Draht verschiedene Längen, etwa von $\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll giebt.

§. 15.

Aeußerst merkwürdig sind die chemischen Wirkungen der Elektricität, von denen wir hier bloß die Entzündung des erwärmten Weingeistes, und der Knall-Luft durch den elektrischen Funken bemerken. Einiges andere hieher gehörige wird in der Folge vorkommen.

Die Erscheinungen der Elektricität im Finstern und in verdünnter Luft versparen wir auf einen andern Ort. (XXXIII. 7 — 10).

Dreiunddreißigstes Capitel.

Entgegengesetzte Elektricitäten.

§. 1.

Schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts machte ein französischer Naturforscher Du Fay die merkwürdige Entdeckung, daß es zwei Arten von Elektricität gebe, die einzeln betrachtet die größte Aehnlichkeit haben; mit einander verglichen aber dennoch etwas entgegengesetztes in den

Erscheinungen zeigen. Er nannte die eine Glaselektricität, die andere Harzelektricität, weil jene hervorgebracht wird, wenn Glas, diese, wenn Harz der geriebene Körper ist. Nach Du Fay's Tode schienen die Naturforscher den feinen Unterschied beider Elektricitäten zu übersehen, dessen Wahrnehmung dem Beobachtungsgeist des Entdeckers Ehre macht. Erst in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts setzte der berühmte Franklin diese Untersuchung fort, und zeigte den Unterschied beider Elektricitäten so vollständig, daß diese Entdeckung seitdem der Schlüssel zur Erklärung der merkwürdigsten elektrischen Erscheinungen geworden ist. Was Du Fay Glas- und Harz-Elektricität genannt hatte, nennt Franklin positive und negative Elektricität; daher es auch gewöhnlich geworden ist, jene durch das Zeichen + E, diese, durch — E anzudeuten. Da indessen Du Fay's Benennung auf einer Thatsache, Franklin's auf einer bloßen Hypothese beruht, die noch dazu in neuern Zeiten viel von ihrer Wahrscheinlichkeit verlohren hat, so verdienen Du Fay's Benennungen wieder allgemein eingeführt zu werden. Wir werden daher auch statt + E und — E, die Buchstaben G und H brauchen.

§. 2.

Man weiß jetzt, daß beide Arten der Elektricität auf vielerlei Art erregt werden können, und daß eigentlich immer beide zugleich, die eine in

dem geriebenen, die andere in dem reibenden Körper entſteht. Iſt daher der Conductor der Elektriſirmaſchine ſo eingerichtet, wie es im vorigen Capitel (§. 5.) beſchrieben worden, ſo iſt es eben ſo leicht den Conductor mit H, als mit G zu laden. Zu dem Ende iſt weiter nichts nöthig, als das Reibezeug zu iſoliren, und den Conductor mit ihm zu verbinden (XXXII. 2 u. 5.), die Scheibe aber in Verbindung mit dem Erdboden zu bringen, und durch zweckmäßig angebrachte Metallſpitzen die auf derſelben erregte Glaselektricität abzuleiten.

§. 3.

Wird nach dieſer veränderten Vorrichtung die Scheibe gedreht, ſo wird der Conductor elektriſch, und zeigt alle im vorigen Capitel beſonders §. 3. angegebenen Erſcheinungen. Nur iſt dieſe Elektricität gewöhnlich merklich ſchwächer, welches aber wahrſcheinlich nur ein zufälliger Umſtand iſt, der daher rührt, daß die Elektricität der Scheibe nicht vollſtändig abgeleitet werden kann.

§. 4.

Der Hauptunterſchied beider Elektricitäten zeigt ſich in den Erſcheinungen des Anziehens und Abſtoßens. Denn da ſonſt zwei Körper, die einerlei Elektricität haben, es ſey G oder H, einander abſtoßen, ſo ziehen ſie ſich an, wenn der eine G und der andere H hat. Woraus das Geſetz folgt:

Daß gleiche Elektricitäten einander

abstoßen, entgegengesetzte aber einander anziehen.

Bei der beschriebenen Vorrichtung der Maschine kann man sich von der Richtigkeit dieses Gesetzes durch eine Korkkugel an einem seidenen Faden überzeugen. Die Scheibe behält, ungeachtet der angebrachten Ableitung, als ein nichtleitender Körper immer einige Glaselektricität zurück. Nähert man nun die Kugel dem Conductor, so wird sie von ihm angezogen, und wenn sie sich mit H gesättigt hat, abgestoßen; in diesem Zustand wird sie aber von der Glasscheibe angezogen, ihre H wird vernichtet, sie ladet sich mit G, und wird nun wieder abgestoßen; jetzt zieht sie von neuem der Conductor an, und man kann leicht eine Stellung der Kugel ausfindig machen, wo sie abwechselnd immer hin und her geworfen wird.

§. 5.

Man sieht augenscheinlich in diesen Versuchen, daß eine Elektricität die andere aufhebt. Noch sichtbarer wird dieß, wenn man die Maschine auf G vorrichtet, das Reibezeug isolirt, und es dann durch eine Kette mit dem Conductor verbindet: man erhält alsdann auch nicht eine Spur von Elektricität in dem Conductor. Bringt man ungleiche Grade beider Elektricitäten zusammen, so wird allezeit die schwächere vernichtet, und die stärkere geschwächt. Man sieht hieraus sehr deutlich, warum bei der Vorrichtung der Maschine auf G das Rei-

bezeug, und bei der Vorrichtung auf H die Scheibe mit einer Ableitung verſehen werden muß.

§. 6.

Auf das in den beiden vorigen §. beſchriebene Verhalten beider Elektricitäten gründet ſich die Methode ſie von einander zu unterſcheiden. Die gewöhnliche Geräthſchaft zu dieſem Zweck beſteht aus einem empfindlichen Elektrometer, einem Uebertråger (m. ſ. XXXII. §. 14.) und einer Stange Siegellack: wovon man aus Erfahrung weiß, daß ſie mit Wolle, Leder, Leinen gerieben, allezeit Harzelektricität annimmt. Man theilt dem Elektrometer die zu pruͤfende Elektricität mit (XXXII. 14.) ſo, daß die Kugeln deſſelben einander abſtoßen, und eine Zeitlang von einander entfernt bleiben; hierauf nähert man dem Elektrometer das geriebene Siegellack; hat das Elektrometer Glaselektricität, ſo gehen die Fäden zuſammen, hat es Harzelektricität, ſo gehen ſie weiter auseinander. Gehen die Fäden des Elektrometers zu weit auseinander, ſo daß ſie an den Wänden des Glaſes anſchlagen, ſo braucht man einen kleinen Uebertråger, oder ſchwächt die Elektricität des Körpers, den man unterſucht.

Elektriſche Erſcheinungen im Finſtern und in verdünnter Luft.

§. 7.

Im Finſtern zeigt ſich der Unterſchied beider Elektricitäten noch auf eine andere merkwürdige

Art, durch eine Verschiedenheit der Lichterscheinungen, wenn die Elektricität durch Spitzen geleitet wird.

Ist der Conductor mit G geladen, und man nähert sich ihm mit einer Metallspitze, so zeigt sich schon in beträchtlicher Entfernung ein Lichtstern an der Spitze, der lebhafter wird, je näher man kommt. Befestigt man die Spitze am Conductor, und nähert sich dann der Spitze mit der Hand oder einem andern leitenden Körper, so zeigt sich an derselben nicht ein Stern, sondern ein divergirender (auseinanderlaufender) Strahlenbüschel.

Ist hingegen der Conductor mit H geladen, so sind beide Erscheinungen gerade umgekehrt.

§. 8.

Wir verbinden hiermit noch einen andern Versuch, der zwar nicht so deutlich den Unterschied beider Elektricitäten zeigt, aber in anderer Rücksicht merkwürdig ist.

Obgleich die trockne atmosphärische Luft ein guter Nichtleiter ist, so ist doch eine stark verdünnte Luft ein guter Leiter. Verdünnt man die Luft in irgend einem gläsernen Gefäß, das an beiden Enden durch Metall luftdicht geschlossen ist, z. B. in einer Glocke, die oben mit Metall geschlossen ist, und unten auf einem Teller steht, der sich vermittelst eines unter ihm befindlichen Hahns auf der Luftpumpe an- und abschrauben läßt; oder in

einer besonders dazu eingerichteten Glasröhre: so kann man die Elektricität im Finstern in Gestalt eines matten mit verschiedenen Farben spielenden Lichts durch die verdünnte Luft hindurch strömen sehen, wenn man das eine Ende des Gefäßes mit dem Conductor verbindet, am andern aber eine Ableitung nach dem Erdboden anbringt. Diese Erscheinung, die man das elektrische Nordlicht nennt, dauert fort, so lange die Scheibe gedreht wird.

Man kann allerlei Abänderungen dieses Versuchs machen, die zum Theil artige Lichterscheinungen geben. Bringt man zwei einwärts gehende Spitzen an beiden Enden des Gefäßes an, so strömt das Licht aus der einen divergirend aus, und in die andere convergirend ein. Ist das Gefäß eine Glocke, und man befestigt inwendig am obern Deckel ein Metallstäbchen, an dessen Ende man einen wagrecht liegenden Stern mit Spitzen, anschraubt, so strömt das elektrische Licht aus jeder Spitze nach dem Teller herab, und giebt den Anblick einer Feuerfontaine; schraubt man statt des Sterns Ringe oder anders gestaltete Körper an, so kann man allerlei Abänderungen in der Gestalt des Lichtstroms hervorbringen.

§. 9.

Ein merkwürdiger Umstand bei diesen Versuchen ist folgender: Nähert man der Glasröhre, in welcher das elektrische Licht strömt, einen Leiter, so

entsteht an der Stelle, wo er sich nähert, eine eigene Bewegung des elektrischen Lichts. Kommt man nahe heran, so erhält man sogar Funken, die aber von sehr veränderlicher Stärke sind. Diese Beobachtung beweist, daß die Elektricität, selbst durch das nichtleitende Glas hindurch wirkt.

Wir bemerken hierbei noch, daß das Phosphoresciren solcher Barometer, die nicht ganz luftleer sind, wenn man im Finstern das Quecksilber durch Beugen zum Steigen und dann wieder zum Fallen bringt, im Grunde eben dieselbe elektrische Erscheinung ist.

§. 10.

Diese Lichterscheinungen sind bei beiden Elektricitäten wenig oder gar nicht verschieden. Franklin und mehrere Anhänger seiner Hypothese über die Elektricität glaubten, daß ein Unterschied darin bestehe, daß, wenn der Conductor mit G geladen ist, die Elektricität allezeit aus dem Conductor auswärts ströme; wenn er hingegen mit H geladen ist, so ströme das elektrische Licht aus dem Erdboden in den Conductor. Indessen war dieß mehr eine Folgerung aus der Hypothese, als eine Beobachtung: denn bei der genausten Aufmerksamkeit findet man es bei allen Bewegungen des elektrischen Lichtes durchaus unmöglich, die Richtung der Bewegung zu unterscheiden, weil sie mit augenblicklicher Geschwindigkeit geschieht. Einem aufmerksamen Auge scheint die Bewegung bald hin,

bald her zu gehen, bald ſcheint die Lichterſcheinung von beiden Seiten gegen einander zu ſtrömen.

Anm. Artige, hierauf beruhende Spielwerke, ſind die elektriſche Schlange und die elektriſche Sonne.

Franklins Hypotheſe.

§. 11.

Nach Franklin ſind die elektriſchen Erſcheinungen Wirkungen einer einzigen unendlich feinen Materie, die ſich nach ähnlichen Geſetzen, als der Wärmeſtoff (XIX.), durch alle Körper verbreitet. Seine Theile ſtoßen einander ab, werden aber von andern Körpern mehr oder weniger angezogen. So lange dieſe elektriſche Materie in einem Syſtem von Körpern ſich in dem Zuſtand des Gleichgewichts befindet, ſo lange zeigen ſich nirgends elektriſche Erſcheinungen. Häuft ſich hingegen dieſe Materie irgendwo über den Punkt des Gleichgewichts an, oder vermindert ſie ſich unter denſelben, ſo iſt der Körper in beiden Fällen elektriſirt; im erſten Fall poſitiv, im zweiten negativ; und die elektriſchen Erſcheinungen rühren von dem Beſtreben der elektriſchen Materie her, das aufgehobene Gleichgewicht wieder herzuſtellen.

§. 12.

Hauptſächlich die Beobachtung, daß das Reibezeug nicht iſolirt ſeyn dürfe, war es, was Franklin ſehr natürlich auf dieſe Vorſtellungsart leitete. Denn in der That iſt man beinahe gezwungen an-

zunehmen, daß die Elektricität, welche sich auf der Scheibe häuft, aus dem Reibezeug herbeiströme. Die Elektrisirung des Conductors mit beiden Arten von Elektricität, erklärt sich sehr einfach aus dieser Hypothese. Auch ist nicht zu leugnen, daß die meisten elektrischen Erscheinungen sich ziemlich gut an dieselbe anschließen. Doch ist schon die Erklärung des Anziehens und Abstoßens nicht ganz ohne Schwierigkeit. Nähern sich einander zwei positiv elektrische Körper, so sind es die beiden umgebenden gedrängteren Atmosphären von elektrischer Materie, welche einander zurückstoßen. Nähern sich zwei negativ elektrische Körper, so ist es die zwischen ihren verdünnten Atmosphären liegende natürliche, und eben daher dichtere Elektricität, die sich auszubreiten strebt, was die Körper auseinander treibt. Sind aber endlich ein positiv und ein negativ elektrischer Körper einander nahe, so nähern sich die Körper, weil die positive Atmosphäre des erstern, von dem letztern Körper angezogen wird. Auch werden wir in der Folge mehrere Erscheinungen kennen lernen, die sich nur gezwungen aus dieser Hypothese erklären lassen.

Wer diese Hypothese aus der ersten Quelle kennen lernen will, sehe Franklin's Briefe über die Elektricität, übersetzt von Wilke. Leipzig 1758.

Symmers Hypotheſe.

§. 13.

Robert Symmer ſtellte im erſten Theil des 51ſten Bandes der Schriften der Londoner Societät (Philosophical Transactions), eine andre Hypotheſe auf, welche die Frankliniſche bei den meiſten Naturforſchern verdrängt hat, weil ſie ſich in der That beſſer an alle Erſcheinungen anſchließt. Nach Symmer giebt es zwei elektriſche Materien, die ſich einander anziehen, da hingegen die Theile jeder, einzeln genommen, einander abſtoßen. Aus ihrer Verbindung, die man gebundene Elektricität nennt, und die wir durch GH bezeichnen wollen, entſteht der unelektriſche Zuſtand: aus ihrer Trennung, der elektriſche. Anhäufung der *einen* bringt die Erſcheinungen der Glaselektricität, Anhäufung der andern die Erſcheinungen der Harzelektricität hervor.

Haben zwei Körper beide G, oder beide H, ſo ſtoßen ſich ihre gleichartigen Atmoſphären ab; hat der eine G und der andere H, ſo ziehen ſich ihre ungleichartigen Atmoſphären an.

Durch das Reiben wird die gebundene Elektricität GH des Reibezeugs zerſetzt; die Scheibe zieht G an, und die freigewordene H entweicht durch die Ableitung; ſtatt ihrer ſtrömt neue GH durch eben die Ableitung aus dem Erdboden zu, und der beſchriebene Proceß geht ununterbrochen fort, ſo lange die Scheibe gedreht wird.

Eben so ungezwungen erklären sich selbst verwickeltere elektrische Erscheinungen, die in der Folge vorkommen werden, aus dieser Hypothese.

Was dieser Vorstellungsart einen besondern Werth giebt, ist, daß sie einen Vortrag zuläßt, bei welchem alles Hypothetische vermieden wird. Das einzige Hypothetische nämlich, was sie enthält, ist: das Daseyn zweier verschiedenen Materien, alles übrige sind unstreitig Thatsachen, nämlich: 1) daß es eine doppelte Art von Elektricität gebe; 2) daß die gleichartige sich abstoße, entgegengesetzte aber sich anziehen; 3) daß gleich starke Elektricitäten beider Art sich vernichten; bringt man aber ungleiche zusammen, so vernichtet die schwächere nur einen Theil der stärkern; 4) daß jeder elektrisirte Körper um sich herum einen gleichartigen Wirkungskreis bilde. Vermeidet man also nun den Ausdruck Materie, und versteht unter G und H nur die Erscheinungen die sich in diesen Thatsachen aussprechen, ohne zu bestimmen, ob sie durch eine oder durch zwei Materien, oder überhaupt auf welche Art sie hervorgebracht werden, so ist klar, daß in den Erklärungen nach dieser Vorstellungsart durchaus nichts Hypothetisches übrig sey. Doch werden die Erklärungen deutlicher und anschaulicher, wenn man sich feine, nicht wahrnehmbare Materien, als Ursache dieser Erscheinungen vorstellt.

§. 14.

Aeltere Hypothesen sind ganz unbrauchbar; unter den neuern verdient bloß die De Luc'sche Rücksicht, die man aus dessen neuen Ideen über die Meteorologie kennen lernen kann. Eine kürzere Darstellung dieser und aller übrigen Hypothesen findet man in den physikalischen Wörterbüchern in dem Artikel Elektricität.

Ob irgend eine von allen aufgestellten Hypothesen richtig sey, kann man bezweifeln; aber Symmers Dualismus behält vor allen den unstreitigen Vorzug, daß er das bequemste Hülfsmittel ist, den Erklärungen der elektrischen Erscheinungen eine gewisse Anschaulichkeit zu geben.

Vierunddreißigstes Capitel.

Elektrische Schlagweite, Wirkungskreis und verstärkte Elektricität.

§. 1.

Wenn man einem elektrisirten Conductor einen leitenden, nicht zugespitzten Körper nähert, so erfolgt, wie wir schon oben (XXXII. 6.) gesehen haben, in einer gewissen Entfernung ein Uebergang der Elektricität durch einen Funken; und mit diesem Funken wird dem genäherten Körper dieselbe Elektricität ertheilt, welche der Conductor hat. Diese Art einen Körper zu elektrisiren, heißt Mittheilung der Elektricität. Sie erfolgt am

vollständigsten bei der Berührung. Ist der Körper gut isolirt, so behält er diese Elektricität, auch wenn er vom Conductor entfernt wird. Man nennt den ganzen Raum rings um den elektrisirten Körper herum, innerhalb dessen diese Mittheilung erfolgt, seine Schlagweite, und man sagt, ein Conductor gebe vier oder sechszöllige Funken, wenn der Uebergang in dieser Weite erfolgt. Die Schlagweite ist übrigens sehr verschieden; nach der Stärke der Elektricität; nach der Leitungskraft des genäherten Körpers; nach der Gestalt desselben; und endlich nach der Beschaffenheit der umgebenden Luft.

Der elektrische Wirkungskreis.

§. 2.

Die Wirksamkeit der Elektricität ist aber nicht auf die Schlagweite beschränkt, sondern äußert sich ausser derselben, auf eine zwar weniger in die Augen fallende, aber desto merkwürdigere Art.

Wenn man außer der Schlagweite eines Conductors, selbst in einer Entfernung von mehreren Fußen ein empfindliches Elektrometer aufstellt, so gehen die Fäden desselben auseinander, sobald man die Scheibe dreht, und zeigen desto stärkere Elektricität, je näher man bei dem Conductor ist. Diese Elektricität ist allezeit gleichartig mit der des Conductors. Entfernt man das Elektrometer behutsam weiter von dem Conductor, oder entzieht

man diesem durch eine entgegengehaltene Spitze allmälig seine Elektricität, so gehen die Fäden wieder zusammen. Und hiedurch unterscheidet sich diese Elektricität von einer nach §. 1. mitgetheilten. Denn diese ist in einem guten Elektrometer bleibend, auch wenn der elektrisirte Körper gänzlich entfernt, und seiner Elektricität gänzlich beraubt ist.

Noch deutlicher läßt sich diese Erscheinung ohne die Elektrisir-Maschine vermittelst eines Elektrometers zeigen. Man reibe eine Glasstange, und nähere sie dem Knopf eines Elektrometers, so gehen die Fäden auseinander, selbst wenn die Glasstange so weit entfernt ist, daß man an keine Mittheilung denken kann. Je näher man kömmt, desto mehr gehen die Fäden auseinander. Entfernt man die Glasstange, so gehen sie wieder zusammen. Hält man die Glasstange still, und nähert von der andern Seite eine geriebene Stange Siegellack, so gehen die Fäden zusammen. Es zeigt sich also, daß sie, wie das Glas G enthalten. Nimmt man statt der Glasstange Siegellack, so geschieht dasselbe, nur ist es H, was die Fäden auseinander treibt.

In diesen Erscheinungen spricht sich das erste Gesetz des elektrischen Wirkungskreises aus, nämlich:

daß ein isolirter Leiter ausser der Schlagweite gleichartig elektrisch

wird, daß aber die Stärke dieser Elektricität abhängig ist von der Entfernung, in welcher sich der isolirte Leiter von dem elektrisirten Körper befindet.

Man sagt in diesem Fall, der isolirte Leiter sey elektrisch nicht durch Mittheilung, sondern durch Vertheilung der Elektricität.

§. 3.

Man ändere nun den Versuch, auf folgende Art ab. Man nähere die geriebene Glasstange dem Knopf des Elektrometers, bis die Fäden deutlich auseinander gehen. Dann berühre man den Knopf des Elektrometers, so fallen die Fäden zusammen, und bleiben auch zusammen, wenn der Finger schon entfernt ist. Wenn man aber jetzt auch die Glasstange entfernt, so gehen sie wieder auseinander und zwar bleibend, als ob sie mitgetheilte Elektricität hätten. Es ist aber ihre jetzige Elektricität H. Wiederholt man den Versuch mit Siegellack, statt der Glasstange, so ist der Erfolg derselbe, nur hat das Elektrometer zuletzt G.

Hierin spricht sich ein zweites Gesetz des Wirkungskreises aus, nämlich:

ein nicht isolirter Leiter, zeigt in dem Wirkungskreise gar keine Elektricität. Isolirt man aber nun den Leiter, und entfernt den elektrisirten

Kör-

Körper, d. h. den Wirkungskreis, so erhält man bleibend die entgegengesetzte Elektricität.

Diese beiden Gesetze enthalten das Eigenthümlichste der elektrischen Statik. Und da man nichts Aehnliches bei der Statik der wahrnehmbaren Körper findet, so dienen sie zu einem stärkern Beweis, daß die elektrische Materie, von allen wahrnehmbaren wesentlich verschieden sei.

§. 4.

Diese Erscheinungen lassen sich nach der Symmerschen Vorstellungsart ungezwungen und einfach erklären.

Was zuerst die Entstehung und Beschaffenheit des Wirkungskreises betrifft, so muß man nur zu dem bisherigen noch die Voraussezzung hinzufügen: daß G und H, schon in sehr kleinen (eigentlich unendlich kleinen) Entfernungen auf einander so wirken, daß sie sich binden (festhalten), ohne sich zu verbinden (d. h. wirklich zu vereinigen).

Nun theile man in Gedanken die Luft, die einen mit G geladenen Conductor umgiebt, in eine Menge concentrischer sehr dünner Schichten ein, so wird die H, welche in der GH der nächsten Schicht enthalten, durch die G des Conductors gebunden, ohne daß sie die Schicht verläßt. Auch die dadurch fast ganz frei gewordene G die-

ser Schicht kann nicht entweichen, wegen der nicht-leitenden Eigenschaft der Luft. Diese so frei gewordene G der ersten Schicht wirkt eben so, nur etwas schwächer, bindend auf die H der zweiten, und macht dadurch die G derselben, obgleich in einem etwas weniges geringerem Grade, frei. Man sieht leicht, wie diese Schlüsse ganz gleichförmig von Schicht zu Schicht fortgesetzt werden können.

Es ist klar, daß nach dieser Vorstellungsart in der ganzen umgebenden Luft nach dem Elektrisiren des Conductors nicht mehr GH enthalten ist, als vorher. Nur ist die H desselben gebunden, je näher bei dem Conductor, desto stärker; und eben deswegen ist ihr G frei, und zwar desto weniger, je weiter man sich von dem Conductor entfernt.

Man darf in dieser Erklärung nur die Buchstaben G und H vertauschen, um zu bestimmen, was erfolgen würde, wenn der Conductor mit H geladen wäre.

Was hier vom Conductor der Maschine gesagt worden, gilt von jedem elektrisirten Körper, also namentlich von einer geriebenen Glas- oder Siegellack-Stange.

§. 5.

Nähert man nun eine geriebene Glasstange, welche G enthält, dem unelektrischen Knopfe des Elektrometers, in welchem sich GH befindet, so wird die H desselben durch die G der Glasstange,

zwar nicht herausgezogen, aber doch in einem gewissen Grade gebunden. Dadurch wird aber die G des Elektrometers in einem gewissen Grade frei, und treibt die Fäden auseinander. Es ist leicht einzusehen, daß diese Wirkung stärker oder schwächer seyn wird, je nachdem die Glasstange näher oder entfernter vom Knopfe des Elektrometers ist. Wie sich die Ansicht ändern würde, wenn man statt der Glasstange eine Siegellackstange genommen hätte, fällt von selbst in die Augen, und so erklärt sich das erste Gesetz genügend.

Hat man das Elektrometer vermittelst der Glasstange elektrisirt, und man hält dieselbe in einiger Entfernung still, so daß die Fäden ihre Divergenz nicht ändern, und man berührt jetzt den Knopf mit dem Finger, so kann dieser nichts weiter bewirken, als daß von der GH die er enthält, der nach dem ersten Gesetz frei gewordene Theil von der G abgeleitet wird. Daher müssen die Fäden zusammenfallen. Entfernt man aber den Finger, so können sie nicht wieder auseinander gehen, weil der in ihnen enthaltene H, noch immer gebunden ist, theils durch den noch zurückgebliebenen Theil der G, theils durch die umgebende G des Wirkungskreises. Entfernt man hingegen den Wirkungskreis, durch Wegnahme der Glasstange, so ist diese H nicht weiter gebunden, als etwa durch die wenige im Elektrometer gebliebene G. Sie wirkt also als freie und mitge-

theilte Elektricität, und treibt die Fäden bleibend auseinander. Hätte man das Elektrometer durch Siegellack elektrisirt, so darf man nur die Buchstaben G und H vertauschen, um die Erscheinungen eben so genügend zu erklären.

Die verstärkte Elektricität.

§. 6.

Im Jahr 1745 wurde die verstärkte Elektricität zu gleicher Zeit von zwei Naturforschern zufällig entdeckt, von Muschenbröck in Leyden, und von dem Domherrn von Kleist in Camin. Der erste wollte Wasser in einem großen Zuckerglase, das er im Arm hielt, elektrisiren, und ließ die Funken durch einen hineingelegten Metallstab gehen. Als er zufällig diesen Stab berührte, erhielt er einen höchst empfindlichen Schlag; eine Erscheinung die damals ganz unbekannt war. Der andere wollte Eisenfeile in einem Glasbecher elektrisiren, und erhielt einen Schlag, als er zufällig mit einer Hand den Glasbecher umfaßte, und mit der andern den Stab berührte, wodurch die Elektricität hinein geleitet wurde. Diese Versuche wurden häufig wiederholt, und man fand bald die Bedingungen, unter denen diese Erscheinung erfolgte. Die zu dem Versuch vorgerichtete Flasche nannte man Leydensche oder Kleistische. Jetzt nennt man sie Verstärkungs-Flasche.

§. 7.

Die einfachste Einrichtung, die man gegenwärtig diesen Flaschen giebt, ist folgende:

Ein Becher von dünnem Glase (z. B. ein Berliner Quart-Glas) wird inwendig und auswendig mit Staniol überklebt, doch so, daß der obere Rand einen bis anderthalb Zoll unbedeckt bleibt. Diesen Rand kann man noch mit einem Firniß oder mit Siegellack überziehen, damit die innere Belegung desto vollkommener isolirt sei, und mit der äußern keine elektrische Verbindung habe. In der Mitte des Bechers stellt man (durch leicht auszudenkende Vorrichtung) einen runden Metallstab auf, der mit der innern Belegung in leitender Verbindung steht, und ein Paar Zoll aus dem Becher hervorsteht. Oben wird er abgerundet, oder man schraubt eine kleine Metallkugel auf.

§. 8.

Der Gebrauch der Flasche ist folgender: Um die Flasche zu laden, umfaßt man die äußere Belegung mit der Hand, und hält den Knopf, während die Scheibe fortwährend gedreht wird, an den Conductor, oder nähert ihn auch nur demselben. Im letztern Fall sprühen kleine Funken aus dem Conductor gegen den Knopf. Sie sind desto kleiner, und folgen desto schneller auf einander, je näher man zu dem Conductor kömmt. Wenn die Funken langsamer und matter zu

gehen anfangen, ist es Zeit, die Flasche wegzunehmen.

Es ist eine wesentliche Bedingung, daß die äußere Belegung beim Laden nicht isolirt seyn darf.

§. 9.

Die hierbei zunächst zu beobachtenden Erscheinungen sind folgende:

1) Wenn man während des Ladens ein Henlysches Elektrometer auf den Conductor setzt, so steigt dasselbe nie so hoch, als wenn man den Conductor allein elektrisirt, obgleich die Flasche eine ungemein große Menge von Elektricität aufnimmt.

2) Setzt man die Flasche auf den Tisch, wodurch die äußere Belegung eine Ableitung erhält, so zeigt sie sich, wie zu erwarten, ganz unelektrisch, und man kann sie daher unbedenklich anfassen.

3) Auch dem Knopf oder der dünnen Belegung kann man sich unbedenklich mit dem Knöchel nähern, wenn man nur nicht zugleich die äußere Belegung anfaßt. Doch erhält man aus dem Knopf kleine stechende Funken, und die innere Belegung entladet sich nicht wie ein Conductor durch einen einzigen Funken. Die Entladung geschieht auf diese Art nur langsam und selbst dann, wenn kein Funke mehr erscheint, und man den Knopf ungestraft anfassen kann, enthält

sie dennoch so viel Elektricität, daß man sie durch einen Ueberträger in ein Elektrometer bringen, und die Art dieser Elektricität untersuchen kann. Man findet sie allezeit gleichartig mit der, welche man der innern Belegung mitgetheilt hat.

4) Die auffallendste Erscheinung aber ist, daß, wenn man die äußere und innere Belegung in leitende Verbindung setzt, sich die Elektricität der Flasche augenblicklich, mit einem starken Funken, und einem kleinen Knall entladet. Der Beobachter kann diese Entladung durch seinen eigenen Körper bewirken, wenn er mit der einen Hand die äußere Belegung der Flasche umfaßt, einen Knöchel der andern Hand aber dem Knopfe nähert. Er bekömmt aber bei dieser Entladung allezeit einen elektrischen Schlag, der bei starker Ladung höchst empfindlich, und selbst gefährlich werden kann. Es ist daher zweckmäßig, die Flasche bei diesem Versuch nur durch einige wenige Funken aus dem Conductor zu laden.

5) Es ist aber als eine wesentliche Bedingung des Erfolgs erwähnt worden, daß die äußere Belegung während der Ladung nicht isolirt seyn dürfe. Isolirt man sie aber, indem man z. B. die Flasche auf eine etwas große, recht trockne Glasplatte, oder auf einen Harzkuchen setzt, so ladet sie sich zwar, aber nur schwach. Die äußere Belegung zeigt aber nur freie Elektricität, und zwar g l e i c h a r t i g e mit der innern.

§. 10.

Um die Entladung auch starker Elektricitäten ohne Nachtheil zu bewirken, bedient man sich einer eigenen Geräthschaft, die man einen Auslader nennt. In ihrer allereinfachsten Einrichtung, besteht sie bloß aus einem etwas starken Draht, den man in einen Bogen krümmt, von solcher Länge, daß, wenn man das eine Ende an einen Punkt der äußern Belegung anlegt, mit dem andern Ende der Knopf berührt werden kann. Man giebt auch dem Bogen in der Mitte einen isolirenden Handgriff, setzt auch den Bogen aus zwei Stücke zusammen, die sich am Handgriff in einem Gewinde vereinigen, welches bei manchen Versuchen Bequemlichkeiten gewährt. Faßt man einen solchen Auslader, und setzt sein eines Ende an die äußere Belegung, und nähert das andere dem Knopfe, so entladet sich die Flasche auf die gedachte Art durch einen einzigen starken Funken, und zwar noch ehe man den Knopf selbst berührt, ohne daß der Beobachter auch nur das geringste empfindet. Hat der Auslader einen isolirenden Handgriff, so vermeidet man nicht nur die Gefahr, sondern selbst die Besorgniß eines Schlages.

Es ist indessen zu bemerken, daß eine so entladene Flasche zwar unmittelbar keine Funken giebt, wenn man eine zweite Entladung versucht, oder den Knopf berührt. Läßt man sie aber eine Zeitlang stehen, so giebt sie von neuem schwache

Funken, und bisweilen noch einen zwar schwachen, aber doch bemerklichen Schlag, wenn man sie vermittelst der Hände entladet.

§. 11.

Man kann mit der Verstärkungsflasche eine Menge belehrender, und belustigender Versuche machen. In Ausehung der erstern bemerken wir nur folgendes:

Die Entladung erfolgt allezeit, wenn man eine leitende Verbindung zwischen der äußern und innern Belegung macht, wie lang auch diese Verbindung seyn mag. Man kann daher einer sehr großen Anzahl von Menschen in einem Augenblick den elektrischen Schlag mittheilen, wenn sie sich nach der Reihe mit den Händen anfassen, der erste aber die äußere Belegung faßt, und der letzte den Knopf der Flasche mit dem Knöchel des Fingers berührt.

Läßt man der Elektricität beim Uebergang die Wahl zwischen einem bessern und schlechtern Leiter, so geht sie durch den erstern, und berührt den letzern gar nicht. Daher kommt es, daß man den Auslader dreist mit beiden Händen fassen kann, ohne daß man einen Schlag erhält. Indessen zieht doch die Elektricität zuweilen den Weg durch einen schlechten Leiter vor, wenn er sehr viel kürzer ist, als der Weg durch einen guten Leiter.

Die Verbindungskette kann sogar an einer oder mehreren Stellen unterbrochen seyn: sind

nur die Zwischenräume nicht zu groß, so erfolgt dennoch die Entladung, und zwar geschieht bei jeder solchen Stelle der Uebergang vermittelst eines schlagenden Funkens.

§. 12.

Diese in einer Flasche gehäufte Elektricität ist es nun, welche man die verstärkte nennt. Sie unterscheidet sich aber von der bloßen Elektricität eines Conductors, theils durch die vermehrte Wirksamkeit, theils durch den Schlag bei der Entladung, theils endlich dadurch, daß, wenn man die geladene Flasche ruhig hinstellt, sie viel länger als ein Conductor die Elektricität an sich hält.

§. 13.

Alle diese Erscheinungen erklären sich sehr befriedigend aus dem Gesetze des Wirkungskreises. Doch müssen wir noch folgende allgemeine Bemerkung vorausschicken.

Sowohl die G als die H zeigen, wenn sie ungebunden da sind, ein großes Bestreben sich auszudehnen, d. h. in jeden leitenden Körper über zu gehn, und der Uebergang dauert so lange, bis das elektrische Gleichgewicht eintritt, oder die Elektricität in beiden Körpern einen gleichen Grad von Ausdehnsamkeit besitzt. Die gebundne GH hingegen zeigt ein solches Bestreben gar nicht, selbst wenn sie stark angehäuft ist. Eben deswegen verhält sich aber ein Körper der gehäufte GH ent-

hält gegen die einzelnen Elektricitäten wie ein leitender Körper, und als ob er noch gar keine Elektricität enthielte. Dieses (dessen Richtigkeit aus den Erscheinungen der Flasche selbst hervorgeht) vorausgesetzt, so hat die Erklärung der Erscheinungen keine Schwierigkeit.

Theilt man der innern Belegung eine Elektricität, z. B. G mit, so bildet sich in der Masse des Glases sogleich ein Wirkungskreis, der bald die GH der äußern Belegung erreicht, und die H derselbe bindet, so daß ihre G, wenn die Flasche nicht isolirt ist, abströmen muß. Statt dieser tritt also nun GH durch die Leitung hinzu, und wenn man daher fortfährt G in die innere Belegung einströmen zu lassen, so wird auch die hierin enthaltene H gebunden, und die G strömt ab. Dieses dauert nun stätig fort, so lange man G dem Innern mittheilt, und die Flasche kann eben deswegen eine so große Menge von Elektricität aufnehmen, weil die innere G und die äußere H sich gegenseitig binden. Doch kann die Ladung immer nur bis zu einem bestimmten Grade fortgesetzt werden. Denn so wie die innere Elektricität einen Wirkungskreis hat, so hat sie auch eine Schlagweite, und diese erweitert sich, je mehr die Elektricität im Innern gehäuft wird. Setzt man die Ladung zu lange fort, so erreicht sie endlich die äußere Belegung, und es erfolgt eine Selbstentladung durch das Glas hindurch,

wodurch gewöhnlich die Flasche an dieser Stelle zertrümmert, und gänzlich unbrauchbar wird. Bisweilen geht indessen die Selbstentladung nicht durch das Glas, sondern aus der innern Belegung durch den unbelegten Rand zur äußern, wozu vielleicht unsichtbare Feuchtigkeit am Rande, oder leitender Staub auf demselben Veranlassung giebt.

Ist die Flasche beim Laden isolirt, so bindet zwar auch, wenn man der innern Belegung G mittheilt, diese das in der äußern Belegung enthaltene H. Die G dieser Belegung kann aber nun nicht abströmen, und wirkt daher als freie Elektricität. Da aber die Menge der H in der äußern Belegung nicht groß ist, und keine neue GH zuströmen kann, so wird die innere G nur schwach gebunden, und man kann daher keine starke Ladung hervorbringen.

Verwechselt man die Buchstaben G und H, so hat man die Erklärung einer Ladung mit H.

§. 14.

Aus dieser Erklärung ersieht man den innern Unterschied der gemeinen und der verstärkten Elektricität. Bei der letzten häufen sich nämlich beide Elektricitäten zugleich, die eine auf der innern, die entgegengesetzte auf der äußern Belegung. Sie verbinden sich zwar nicht, binden sich aber doch gegenseitig so, daß keine von beiden entweicht.

Es besteht also die Elektricität einer geladenen

Flasche, aus gehäufter GH, wobei jedoch diejenige Elektricität, die der innern Fläche zugeführt wird, immer in etwas größerer Stärke vorhanden ist. Bloß dieser Ueberschuß wirkt als freie Elektricität, und daher kömmt es, daß das Elektrometer am Conductor weniger als sonst steigt, wenn man eine Flasche ladet.

Eben so ungezwungen erklären sich alle übrigen, eben (§. 9.) erwähnten Erscheinungen. Stellt man z. B. die Flasche auf einen Tisch, und nähert sich mit einem Finger bloß dem Knopf, so erhält man zuerst nur die freie Elektricität der innern Belegung. Indem man aber diese wegnimmt, schwächt man zugleich die Bindung der äußern, und es strömt ein Theil derselben ab. Hierdurch wird aber die Bindung der innern geschwächt, und man erhält also wieder einen Funken. Diese gegenseitige Schwächung geht langsam, aber stätig fort, bis alle Elektricität hinweg ist. Indessen bleibt ein kleiner Ueberrest derselben zurück, und wahrscheinlich anfangs unten am Boden der Flasche. Läßt man sie aber stehen, so arbeitet sich dieser allmälig gleichförmig durch die Belegungen, und macht nach einiger Zeit eine neue, doch nur schwache Entladung möglich.

§. 15.

Will man die Wirkung der Flasche aufs möglichste verstärkt sehen, so muß man eine elektrische Batterie machen; d. h. man muß eine

Menge solcher Flaschen zusammenstellen, und einerseits alle ihre äussere Belegungen, andrerseits aber alle ihre innern Belegungen in leitende Verbindung setzen. Die Verbindung der äußern Belegungen kann man aufs einfachste dadurch erhalten, daß man sie sämmtlich auf eine zusammenhängende Lage von Staniol stellt; die Verbindung der innern Belegungen durch Drähte, wodurch man die Knöpfe der Flaschen verbindet. Das übrige der äussern Anordnung ist zufällig, und in größern Werken nachzusehen.

Die Ladung geschieht dadurch, daß man irgend etwas, was zur innern Belegung gehört, durch einen Draht oder eine Kette mit dem Conductor der Elektrisir-Maschine verbindet, und dann die Scheibe umdreht.

Wie oft man die Scheibe umdrehen müsse, um eine ziemlich vollständige Ladung zu erhalten, läßt sich im Allgemeinen gar nicht bestimmen, weil es nicht nur nach der Größe und Güte der Maschine, sondern auch nach Beschaffenheit der Witterung sehr verschieden ist.

Da die Wirkungen einer geladenen Batterie von einer Vorsicht gebietenden Stärke sind, so ist es ein lästiger Umstand, daß man bis jetzt kein Kennzeichen hat, an welchem man mit völliger Sicherheit beurtheilen könnte, wie weit die Ladung vorgerückt sey. Um desto sorgfältiger muß man daher wenigstens auf die mangelhaften Kennzei-

chen, die sich angeben lassen, Achtung geben. In dieser Rücksicht ist folgendes zu beobachten: 1) bei jedem Versuche muß man zählen, wie oft die Scheibe umgedreht wird, um aus dem Erfolg des ersten Versuchs eine Regel für die folgenden zu ziehen; 2) man muß nie versäumen das Quadrantelektrometer auf den Conductor zu stellen, und es zu beobachten; es steigt zwar bei der Ladung einer Batterie weit langsamer, als bei der Elektrisirung des bloßen Conductors, oder bei der Ladung einer einzelnen Flasche; aber man kann doch aus seinem Stand bei dem ersten Versuch wieder eine Regel für die folgenden ziehen, und selbst bei dem ersten Versuch, das Fortrücken der Ladung einigermaaßen wahrnehmen; 3) man lege vor den Versuchen über die Drähte, welche die innere Belegung der Flasche verbinden, ein Metallstäbchen, das an beiden Seiten mit einem runden Knopf von etwa $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser versehen ist, und ein Paar Zoll über die Batterie hervorragt. Man nähere von Zeit zu Zeit den Knopf eines isolirten Ausladers einer dieser Kugeln; in einer gewissen Entfernung wird ein knisterndes Fünkchen gegen den Auslader heraussprühen; und man kann aus der Entfernung ungefähr auf die Stärke der Ladung schließen; bei einer Batterie von 20 bis 30 Berliner Quartflaschen, zeigt $\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung schon eine starke Ladung an. 4) Man sey aufmerksam auf die ganze Batterie, und wenn man

irgendwo ein Knistern zwischen den Gläsern hört, so säume man nicht die Batterie zu entladen, weil es entweder ein Zeichen von einer schadhaften Flasche, oder von einer nahen Selbstentladung ist.

Die Selbstentladung muß man zu vermeiden suchen, weil man dabei oft eine Flasche verliert. Die künstliche Entladung geschieht, wie bei der einzelnen Flasche, dadurch, daß man die äussere und innere Belegung auf irgend eine Art in Verbindung bringt.

§. 16.

Die Wirkung einer Batterie wächst zwar mit der Anzahl der Flaschen, aber so weit sich die Stärke der Wirkung messen läßt, nicht in gleichem Verhältniß. Es ist übrigens genauer, die Größe einer Batterie nach der Größe der äussern oder innern Belegung, als nach der Anzahl der Flaschen anzugeben. Haben die Flaschen die Größe der gewöhnlichen Berliner Quartgläser, so kann man ungefähr auf jede Flasche, 1 Quadratfuß äussere, oder innere Belegung rechnen; will man es etwas genauer haben, so kann man auf 9 oder 10 Flaschen einen Quadratfuß abrechnen.

§. 17.

Eine fast unentbehrliche Zubehör zu einer Batterie, ist der Henly'sche allgemeine Auslader. Auf einem Fußbrettchen, das etwa 12 Zoll lang, und 6 bis 8 Zoll breit ist, stehen nicht weit von den beiden schmalen Enden zwei isolirende

Säu-

Säulen von 8 bis 10 Zoll Höhe. Jede trägt einen queer über ihr liegenden Draht, der auf der äussern Seite in einen Ring umgebogen ist, auf der innern Seite aber sich in einer Kugel, oder wenn man diese abschraubt, in einer Spitze endigt. Diese Drähte sind auf ihren Säulen vermittelst einer Vorrichtung von Messing so befestigt, daß jeder dreierlei Bewegung machen kann; er kann in einer Hülse hin und her geschoben, er kann horizontal, er kann vertikal gedreht werden. Zwischen beiden Säulen steht eine Art Tischchen von gedörrtem Holz, das man hoch und niedrig stellen, auch ganz wegnehmen kann. Ueber dem Tischchen liegt noch eine Platte von gleicher Größe, die sich durch zwei Schrauben nach Art einer Presse an die Tischplatte anschrauben läßt.

Bei dem Gebrauch befestigt man das eine Ende einer Drahtkette an den Ring des einen Drahts, und das andere Ende an die äussere Belegung der Batterie. Den Körper, den man der Wirkung des Schlages aussetzen will, legt man auf das Tischchen, oder preßt ihn zwischen die beiden Platten, worauf man den Knöpfen beider Drähte die schicklichste Lage und Entfernung gegen ihn giebt. Hierauf hängt man den Ring eines gemeinen Ausladers (§. 10.) an den Ring des zweiten Drahts, und berührt mit dem Knopfe des gemeinen Ausladers die innere Belegung der Batterie. Der elektrische Funke ist nun, wie man leicht sieht,

gezwungen, durch den Körper zu gehen, der zwischen den beiden Knöpfen des Ausladers liegt.

§. 18.

Von den unzähligen Versuchen, die sich mit einer Batterie anstellen lassen, müssen wir uns begnügen einige wenige anzuführen.

Vögel und andere kleine Thiere werden durch den Schlag einer Batterie augenblicklich getödtet. Mit größern Thieren würde der Versuch große Vorsicht erfordern. Raupen scheinen eine Ausnahme zu machen, und nicht nur mehrere Schläge einer Batterie, sondern selbst den Schlag eines Blitzes auszuhalten, indem man sie öfters an Bäumen, die der Blitz traf, munter findet.

Der Funke einer Batterie, dringt durch dünne Glasscheiben, mit verstärktem Schall, aber ohne sie zu zerbrechen.

Er schlägt ein Loch, durch vielfache Pappe, durch ein Spiel Karten, durch Blätter von Staniol oder Blei rc. Bemerkenswerth ist der kleine Umstand, daß dergleichen Löcher immer auf beiden Seiten einen aufgeworfenen Rand haben.

Feine Metallfäden macht der elektrische Funke glühend, schmelzt und oxydirt, oder verbrennt sie. Am leichtesten ist mit kleinen Batterien dieser schöne Versuch zu machen, wenn man ein kurzes Ende, von den feinsten stählernen Claviersaiten (Nr. 10 oder 11) anwendet.

Aechtes Blattgold, oder Blattsilber zwischen

Glasstreifen gepreßt wird durch den elektrischen Funken in das Glas eingeschmolzen; unächtes verliert dabei an manchen Stellen durch eine anfangende Oxydation seine Farbe.

Wenn man die beiden Knöpfe des Henly'schen Ausladers nahe über die Oberfläche von Wasser bringt, so können sie ziemlich weit auseinanderstehen, und es erfolgt dennoch die Ausladung mit sehr verstärktem Schall. Hält man während der Entladung einen Finger in das Wasser, so fühlt man einige Erschütterung. Ohne Zweifel befördert der leitende Wasserdunst, der über dem Wasser liegt, die Entladung.

Bringt man die Knöpfe des Ausladers in einer geringen Entfernung von einander unter Wasser, so zeigt sich der Funke im Wasser zwischen den Knöpfen, wobei das Wasser in merkliche Bewegung kommt.

Fünfunddreißigstes Capitel.

Der Elektrophor, der Condensator und die elektrische Wage.

§. 1.

Alexander Volta zu Pavia, der größte Kenner der Elektricität unter den jetzt lebenden Naturforschern, hat den elektrischen Apparat mit mehreren sehr merkwürdigen Geräthschaften bereichert, wozu die beiden ersten in der Ueberschrift genann-

ten gehören. Seine Erfindungen haben alle das charakteristische, daß keine einzige dem Zufall, sondern alle der Theorie und dem Genie ihr Daseyn verdanken.

Der Elektrophor.

§. 2.

Man stelle sich eine runde Scheibe von Blech, ringsherum mit einem niedrigen aufwärtsstehenden Rand vor. Ihre Größe kann sehr verschieden seyn; bei kleinen Elektrophoren beträgt der Durchmesser wenige Zolle, bei größern zwei bis fünf Fuß. Der Rand muß immer sehr niedrig seyn; bei den kleinsten etwa ein Viertelzoll, bei den größten nicht über einen Zoll. Diese Scheibe oder Schaale heißt die Form des Elektrophors.

Sie wird mit Harz, Pech, Siegellack, Schwefel oder irgend einer harzigen Composition ausgefüllt. Man muß aber Sorge tragen, daß die Masse keine Risse bekomme, und ihre Oberfläche recht eben sey. Diese Masse heißt der Kuchen des Elektrophors.

Der dritte und letzte wesentliche Theil des Instrumentes heißt der Deckel. Er besteht aus einer Scheibe, deren Durchmesser um den achten oder zehnten Theil kleiner ist, als der Durchmesser der Form. Er muß aus einer leitenden Materie verfertigt seyn, und nirgends Spitzen oder scharfe Kanten haben, auch recht eben seyn. Wird er aus

Blech gemacht, so muß der Rand rund umgebogen seyn; aber es ist schwer ihn dann recht eben zu erhalten. Es ist daher besser ihn aus mehrfach übereinander geleimten Pappen zu machen, und ihn mit Staniol zu überziehen. Er wird nach Art einer Wagschale an drei recht reinen seidenen Schnüren aufgehängt, oder man kann ihm auch in der Mitte einen gläsernen Handgriff geben. Kurz er muß isolirt aufgehoben werden können.

§. 3.

Die Elektricität dieser Geräthschaft wird dadurch erregt, daß man den Kuchen mit einem recht trocknen Fuchsschwanz peitscht, wodurch er Harzelektricität erhält. Die auszeichnenden Eigenschaften des Elektrophors zeigen sich in folgenden Erscheinungen:

1) Setzt man den Deckel auf den elektrischen Kuchen, so erhält sich die Elektricität in ihm viele Tage, ja Wochen lang. Daher der Name Elektrophor, d. i. Elektricitätsträger.

2) Setzt man den Deckel auf den Kuchen, und berührt ihn mit dem Finger, so erhält man einen kleinen Funken. Er ist also elektrisch, und wenn man etwas von dieser Elektricität vermittelst eines Ueberträgers an ein Elektrometer bringt, so findet man sie jederzeit gleichartig mit der Elektricität des Kuchens, nämlich H.

3) Setzt man den Deckel auf den Kuchen, und hebt ihn, ohne ihn berührt zu haben, an den

Schnüren auf, so zeigt er gar keine, oder eine sehr schwache Elektricität.

4) Setzt man ihn endlich auf den Kuchen, und zieht mit dem Finger einen Funken heraus, so zeigt er, wenn man ihn aufhebt, eine mit der Entfernung vom Kuchen zunehmende Elektricität, die so beträchtlich ist, daß bei Annäherung eines Leiters, ein Funke heraussprüht, dessen Stärke von der Größe des Kuchens, und von der mehr oder minder vollständigen Elektrisirung desselben abhängt. Untersucht man die Art dieser Elektricität, so findet man sie jederzeit der des Kuchens entgegengesetzt, also G.

5) Man kann das abwechselnde Funkenziehen aus dem Deckel, wenn er auf dem Kuchen steht, und wenn er aufgehoben ist, so oft man will wiederholen, ohne daß der Kuchen an seiner Elektricität das geringste verliert.

§. 4.

Nach dem, was im vorigen Capitel über die elektrischen Wirkungskreise gesagt worden, ist in diesen Erscheinungen wenig, was einer besondern Erklärung bedürfte. Nur daß keine wirkliche Mittheilung sondern eine bloße Vertheilung (XXXIV. 2.) erfolgt, wenn man den Deckel auf den Kuchen setzt, ist eine neue Erscheinung. Wir haben indessen schon oben (XXXII. 12.) gesehen, daß die Gestalt der Körper großen Einfluß auf die Mittheilung der Elektricität hat, und daß die Mit-

theilung desto mehr Schwierigkeit findet, je weniger Spitzen und scharfe Kanten sich an dem Körper finden. Wir lernen also aus dem Elektrophor ein neues Gesetz der Mittheilung; dieses nämlich:

daß zwischen zwei breiten Flächen, von denen die eine nicht leitend, die andere aber leitend ist, keine merkliche Mittheilung statt findet.

Alles übrige muß für den verständlich seyn, der die Gesetze des elektrischen Wirkungskreises begriffen hat.

§. 5.

Der Elektrophor kann in den meisten Fällen die Stelle einer Elektrisirmaschine vertreten. Denn ist er einmal elektrisirt, so ist er gleichsam eine unerschöpfliche Quelle von Elektricität. Besonders kann man Flaschen mit beiden Elektricitäten laden. Man stelle zwei Flaschen neben den Elektrophor, und verbinde die äussere Belegung der einen mit der Form. Mit dieser Flasche ziehe man den Funken aus dem Deckel, wenn er auf dem Kuchen steht, mit der andern, wenn er aufgehoben ist, so wird jene mit H, diese mit G geladen. Starke Ladungen erhält man indessen auf diese Art nicht, oder der Elektrophor müßte sehr groß seyn; aber ein solcher ist, wegen der Größe und Schwere des Deckels unbequem zu handhaben.

§. 6.

Wir müssen noch ein leichtes Mittel erwähnen, die Elektricität des Kuchens sehr zu verstärken. Man lade eine Flasche (durch den Elektrophor oder durch die Maschine) mit G, setze sie auf den Kuchen, fasse den Knopf, und führe so den belegten Boden der Flasche auf dem Elektrophor herum, so geht allmählig alle G der Flasche durch die Hand fort, alle H aber, was sie gebunden enthielt, nimmt allmählig der Kuchen an, und verstärkt sich dadurch. Doch ist diese Verstärkung nicht von langer Dauer.

§. 7.

Zu den eigenthümlichen Versuchen, die sich mit dem Elektrophor machen lassen, gehören noch die Lichtenbergischen Figuren. Man lade zwei Flaschen, eine mit G, die andere mit H; man fasse jede bei der äussern Belegung, und zeichne mit dem Knopf auf den Kuchen beliebige Züge, nachdem man vorher demselben durch ein aufgelegtes und ausgedrücktes leinenes Tuch alle Elektricität entzogen hat. Dann bepudere man den Kuchen mit feinem Staub, z. B. von Schwefel, Harz, Mennige, Hexenmehl u. dgl., so werden die gemachten Züge sichtbar, wobei sich G und H in den entstehenden Figuren auffallend unterscheiden.

§. 8.

Von andern mit dem Elektrophor zu machen-

den Versuchen sehe man die phys. Wörterbücher und andere größere Werke nach. Eine artige Anwendung derselben hat man in neuern Zeiten bei dem elektrischen Feuerzeug gemacht, dessen frühere unvollkommnere Einrichtung man in den phys. Wörterbüchern unter dem Artikel Lampe, elektrische beschrieben findet. Von der neuern Einrichtung ist mir keine gedruckte Beschreibung bekannt. Das Wesentliche besteht darin, daß unter der Maschine ein Kasten mit einem Elektrophor angebracht ist, und daß zur Anzündung des Lichts nichts als die Umdrehung eines einzigen Hahns nöthig ist. Sie werden in Berlin häufig, und gut verfertigt.

Der Codensator.

§. 9.

Man hat in neueren Zeiten angefangen, sehr lehrreiche Untersuchungen über schwache Grade von Elektricität, die sich bei mannigfaltigen Gelegenheiten in der Natur zeigen, anzustellen. Der Naturforscher, welcher die Wissenschaft erweitern will, muß daher mit den hierzu dienlichen Geräthschaften bekannt seyn. Dazu gehört, ausser sehr empfindlichen Elektrometern, vorzüglich Volta's Condensator, wodurch die Wirkungen einer noch so schwachen Elektricität bemerklich gemacht werden können.

§. 10.

Die Construction des Condensators kann auf

mancherlei Art abgeändert werden, ist aber in jedem Fall höchst einfach. Der wesentlichen Theile sind zwei, der Deckel und die Unterlage oder Basis. Der Deckel ist im Wesentlichen so eingerichtet wie bei einem Elektrophor (§. 2.); nur ist er gewöhnlich viel kleiner, etwa von 2 bis 3 Zoll Durchmesser; daher ist es zweckmäßig ihn aus Metall zu machen, und die untere Fläche abschleifen und poliren zu lassen. Die Unterlage muß eine Scheibe seyn, die entweder aus einer schlechtleitenden Materie, oder aus einer gutleitenden Materie, mit einem sehr dünnen nichtleitenden Ueberzuge besteht. Am bequemsten ist eine abgeschliffene Metallplatte, die mit dünnem Taffent, oder mit einer dünnen Lage von Firniß überzogen ist. Eine recht trockne und erwärmte Marmorplatte, eine Scheibe von trocknem Holz, die man auch mit einer dünnen Firnißlage überziehen kann u. dgl. sind auch brauchbar. Ja, da die Luft selbst ein nichtleitender oder schlechtleitender Körper ist, so darf man nur drei kleine Stückchen Glas auf einen Tisch legen, und den Deckel darauf setzen, so vertritt der Tisch und die Luftschicht zwischen ihm und dem Deckel, die Stelle der Unterlage.

§. 11.

Bei dem Elektrophor wurde der Kuchen elektrisirt; bei dem Condensator theilt man unmittelbar dem Deckel, während er auf seiner Basis steht, die

schwache Elektricität mit, welche untersucht werden soll. So lange er auf der Basis steht, zeigt er wenig oder gar keine Elektricität, hebt man ihn aber auf, so wirkt er merklich auf das Elektrometer und giebt wohl gar Funken. Man kann den Versuch z. B. mit dem kleinen Ueberrest von Elektricität machen, den eine Flasche auch nach der vollständigen Entladung behält.

§. 12.

Die Theorie des Condensators hat nach allem bisher Vorgetragenen keine Schwierigkeit. Zwischen dem Deckel und der Basis findet keine Mittheilung statt (§. 4.); daher bildet die dem Deckel mitgetheilte Elektricität einen Wirkungskreis. Giebt man dem Deckel G, so bindet diese die in dem natürlichen GH enthaltene H der Basis in einem gewissen Grade, wird aber dadurch selbst in gleichem Grade gebunden. Hierdurch erhält aber der Deckel gerade so wie eine Flasche, die man ladet, die Empfänglichkeit (Capacität) mehr Elektricität anzunehmen. Sie saugt also, so zu sagen, alle Elektricität aus dem Körper aus, den man ihr darbietet. Alle diese Elektricität aber ist, so lange der Deckel auf der Basis steht, ganz oder größtentheils gebunden. Hebt man ihn aber auf, daß die Basis aus dem Wirkungskreise des Deckels kommt, so wird alle seine Elektricität frei, und äussert sich auf die gewöhnliche Art.

Man sieht leicht, wie diese höchst sinnreiche

Zusammensetzung zur Untersuchung schwacher Grade von Elektricität benutzt werden könne. Man vergleiche den Artikel Condensator in den phys. Wörterbüchern.

Die elektrische Wage.

§. 13.

Ein vor wenigen Jahren verstorbener französischer Naturforscher Coulomb, dem die Naturlehre mehrere sehr feine Untersuchungen verdankt, hat ein Werkzeug unter dem Namen elektrische Wage erfunden, dessen nächster Zweck ist, die Gesetze ausfindig zu machen, nach welchen die elektrische Anziehung und Abstoßung mit der Entfernung abnimmt. Da die Kenntniß der Naturgesetze das wichtigste ist, wonach der Physiker streben muß, so ist dieses sinnreiche Instrument für die Theorie der Elektricität von großer Wichtigkeit.

§. 14.

Wenn man einen etwas langen und zarten Faden (etwa einen sehr feinen Silber-Faden, oder einen einfachen Seiden-Faden) am obern Ende befestigt, am untern aber einen dünnen und leichten Zeiger oder Hebel in seinem Schwerpunkte daran so befestigt, daß er wagerecht schwebt, so ist klar, daß dieser Hebel durch die allerschwächste Kraft in horizontaler Richtung um seinen Schwerpunkt gedreht werden kann. Hat man ihn nun um

einen gewissen Winkel aus seiner ersten Lage gebracht, und man läßt ihn wieder frei, so kehrt er nach einigen pendelartigen Schwingungen in seine erste Lage zurück, und zwar genau, wenn man beim Drehen nicht aus den Gränzen der vollkommnen Elektricität herausgekommen ist. (M. vergl. Cap. VIII. §. 6 u. folg.). Diese Gränzen sind aber hier ziemlich groß, wenn der Faden etwas lang ist, und man kann den Hebel wohl um 360° drehen, ohne aus ihnen zu kommen.

Coulomb hat eine Menge feiner und sorgfältiger Untersuchungen angestellt, um das Verhältniß auszumitteln, in welchem eine angewendete Kraft mit dem Winkel steht, um welchen sie den Hebel dreht, und er hat gezeigt:

daß diese Kraft in gleichem Verhältniß mit dem Winkel stehe, um welchen sie den Hebel dreht.

An den Winkeln die der Hebel beschreibt, hat man also ein Maaß der Kräfte, die man auf den Hebel wirken läßt. Der Erfinder hat diesen Mechanismus, den man allgemein Drehwage (Balance de torsion) nennen kann, zu mehrern äußerst feinen Untersuchungen über die elektrische und magnetische Kraft benutzt.

§. 15.

Für die elektrischen Untersuchungen bekömmt die Wage folgende Einrichtung:

Unten befindet sich ein cylindrisches, nur ein

Paar Zoll hohes, aber sechs bis acht Zoll weites Gefäß, welches durch ABCD Fig. I. in einem senkrechten Durchschnitt vorgestellt ist. An seiner äussern cylindrischen Fläche ist ungefähr in der Mitte der Höhe ein (in der Figur nicht vorgestellter) Kreis gezeichnet und in 360° getheilt. Oben ist das Gefäß mit einer aufgekitteten Glasplatte AB geschlossen, bis in der Mitte ein rundes 1 bis 1½ Zoll weites kreisförmiges Loch EF geschnitten. In dieses ist eine 16 bis 18 Zoll hohe Glasröhre eingekittet, welche oben bei GH mit einer kreisförmigen Platte geschlossen ist, die sich in der Röhre sanft (doch nicht allzuleicht) herumdrehen läßt. Der Rand dieser Scheibe ist rings herum wieder in 360° getheilt. Diese Platte kann aus Messing (allenfalls auch aus Holz) bestehen. In der Mitte bei I ist sie mit einem kleinen Loche durchbohrt, in welchem sich eine kurze, oben und unten hervorragende Achse IK drehen läßt. An dieser Achse ist oben ein Zeiger IL, unten aber bei K ein sehr feiner Silberdraht KM befestigt, der bis ungefähr in die Mitte des untern Gefäßes herabreicht. Hier ist nun in wagrechter Stellung ein Hebel NO befestigt, der am besten aus einer bloßen feinen Nadel von Schell-Lack (Gummi-Lack) besteht. Wird hiedurch der Silberdraht noch nicht recht gerade gespannt, so kann man bei M noch ein kleines Gewicht von Bley anhängen. Diese Nadel muß sich eigentlich in gleicher Höhe

mit dem oben erwähnten, am äußern Umfang des Gefäßes gezeichneten Kreise befinden, welcher eben den Zweck hat, die Stellung der Nadel zu beobachten. An dem einen Ende dieser Nadel in unserer Figur bei M ist ein kleiner Kreis von Goldpapier so angeklebt, daß der metallische Ueberzug derselben abwärts von der Nadel gekehrt ist. Nun nehme man an, daß diese Spitze M der Nadel, gerade auf den Nullpunkt des äußern Kreises zeige, welches jederzeit durch Umdrehung des Deckels GH bewirkt werden kann, so befindet sich in der Deckelplatte AB gerade über M eine kleine kreisförmige 0, 2 bis 0, 4 Zoll weite Oeffnung, welche bestimmt ist, um durch dieselbe dem kleinen Kreis von Goldpapier eine schwache Elektricität mitzutheilen. Zu dem Ende befestigt man eine kleine messingene Kugel, an einen Faden von Gummi-Lack, und bringt die Kugel so in das Innere, daß sie im unelektrischen Zustand gerade nur den Metall-Ueberzug des kleinen Kreises berührt. In dieser Stellung muß sie in dem Loch P einigermaßen befestigt seyn, doch so, daß man sie leicht herausnehmen, und wieder in derselben Stellung hinein bringen kann. Die Vorrichtung dazu kann sich jeder leicht nach Belieben ausdenken.

Was die Zählung der Grade an den beiden eingetheilten Kreisen betrifft, so muß man dieselben bei dem Gebrauch bald vor-, bald rückwärts

zählen. Man kann daher die Zahlen ganz weglassen, weil sich auch ohne sie die Grade leicht zählen, wenn sich nur die Striche der zehnten und fünften Grade deutlich auszeichnen. Aber die Nullpunkte müssen an beiden bemerkt seyn.

§. 16.

Was nun den Gebrauch dieses artigen Werkzeuges betrifft, so begnügen wir uns zu zeigen, auf welche Art dasselbe gebraucht werden kann, um das Gesetz für die elektrische Abstoßungskraft zu bestimmen.

Zuerst muß man sowohl die Nadel als den Zeiger auf ihren Nullpunkt bringen, welches immer durch abwechselnde Drehung des Deckels und des Zeigers erhalten werden kann. Hierauf nimmt man die in dem Loche P befindliche Kugel heraus, theilt ihr eine schwache Elektricität mit, und bringt sie wieder möglichst genau in ihrer vorigen Lage in das Loch. Sobald sie das Goldblättchen der Nadel berührt, wird dieses in gleichem Grade elektrisch, und daher von der Kugel abgestoßen. Wir nehmen an, daß hierdurch die Nadel um 18° vom Nullpunkt abgetrieben werde. Steht sie hier still, so steht die elektrische Abstoßung, mit 20° Drehungskraft im Gleichgewicht. Wird daher die geringste entgegengesetzte Drehungskraft angebracht, so muß sie sich wieder der Kugel nähern. Man drehe also den Silberfaden vermittelst des oberen Zeigers (aber nicht den Deckel

GH)

GH) nach der entgegengesetzten Seite langsam fort, bis die Nadel genau die Hälfte ihres vorigen Weges, also 9° zurückgelegt hat, und zähle nun, um wieviel Grade der Zeiger gedreht worden ist. Wir nehmen an 63°, so wird die Nadel jetzt, da sie noch 9° vom Nullpunkt absteht, durch eine Drehungskraft von 63° + 9° = 72° im Gleichgewicht erhalten. Bei einer Entfernung von 9° ist also die Abstoßungskraft 72; bei einer Entfernung von 18° aber 18. Beide Kräfte verhalten sich wie 72 : 18 = 4 : 1; die zugehörigen Entfernungen aber wie 9 : 18 = 1 : 2. Jene Zahlen verhalten sich also verkehrt wie die Quadratzahlen von diesen.

Anm. 1) Man sieht leicht ein, daß genaue Winkelmessungen bei diesen Versuchen nicht möglich sind. Man muß daher durch Vervielfältigung der Versuche ersetzen, was dem einzelnen an Genauigkeit abgeht. 2) Wenn man stärkere Elektricitäten anwendet, so daß die Nadel um große Winkel aus ihrer Lage gebracht wird, so kann man nicht die Bogen selbst, sondern man muß die Sehnen als Maaß der Entfernungen betrachten. Bei genaueren Versuchen, sind also diese zu berechnen, welches für jeden, der nur etwas geübt in der Mathematik ist, keine Schwierigkeit hat. 3) Man sieht leicht, daß von dem Instrument ein mannigfaltiger Gebrauch gemacht, und daß es besonders als ein ungemein empfindliches Elektrometer gebraucht werden könne. 4) Bei diesen Versuchen muß man eigentlich sowohl die Kugel, als den kleinen Kreis von Goldpapier, als physische Punkte betrachten. Denn es ist klar, daß man nicht erwarten dürfe, bei großen elektrischen Flächen eben das Gesetz des Anzie-

hens und Abstoßens, besonders in der Nähe zu finden, indem alsdann die Stärke der elektrischen Kraft nicht von einer einzigen Entfernung, sondern von der Entfernung aller Punkte des elektrischen Körpers, von allen Punkten des angezogenen oder abgestoßenen abhängig ist, welche Bestimmung in vielen Fällen sehr schwierig und verwickelt werden kann.

§. 17.

Coulomb hat durch eine große Menge von Versuchen mit diesem Instrument dargethan:

daß sowohl die elektrische Anziehung als Abstoßung im verkehrten Verhältniß mit den Quadraten der Entfernung abnehme,

ein Verhältniß, das sich nicht nur bei der Gravitation findet, sondern überall zu herrschen scheint, wo sich die Wirkungen einer Kraft nach allen Seiten gleichförmig ausbreiten.

Durch dieses Gesetz ist wenigstens die Grundlage zu einer mathematischen Theorie der Elektricität gelegt, für deren Vollendung indessen noch viele Schwierigkeiten zu überwinden sind.

Sechsunddreißigstes Capitel.

Von der Erregung der Elektricität durch andere Mittel als das Reiben, besonders von dem sogenannten Galvanismus.

§. 1.

Den Gedanken, daß das Gewitter eine elektrische Erscheinung sey, faßten mehrere Naturforscher, namentlich Nollet, Winkler und

Franklin in der Mitte des vorigen Jahrhunderts zu gleicher Zeit; aber dem berühmten Franklin gebührt nicht nur das unstreitige Verdienst, die Frage durch Versuche entschieden zu haben, sondern er erwarb sich zugleich durch die Erfindung des Blitzableiters ein unsterbliches Verdienst. Eine umständliche Auseinandersetzung der Theorie des Gewitters, gehört mehr in die physische Erdbeschreibung, als in die Naturlehre. Aber wir erwähnen hier diese Erscheinung bloß deswegen, weil sie ein auffallendes Beispiel ist, daß die Natur zur Erregung der stärksten Elektricität Mittel besitzt, die wir vielleicht gar noch nicht kennen. Denn daß die Elektricität des Gewitters durch Reibung von Luft an Luft, oder von Luft an Wasserdünsten erregt werden sollte, hat in der That nicht die geringste Wahrscheinlichkeit. Ein Umstand verdient hierbei besondere Aufmerksamkeit: daß während eines Gewitters die Luft weit umher mit Wasserdunst und fallenden Tropfen angefüllt ist, also die Atmosphäre in einer sehr starken leitenden Verbindung mit dem Erdboden ist, wodurch eine unendliche Menge von Elektricität aus der witternden Wolke unsichtbar abgeleitet werden muß. Da aber dennoch durch die Blitze so gewaltsame Entladungen erfolgen, und dieses oft mehrere Stunden hintereinander, so ist man gezwungen anzunehmen, daß in der Gewitterwolke selbst irgend ein Proceß fortdauernd vorgehe, durch

welchen eine so große Menge von Elektricität frei wird, daß die ableitende Kraft der Luft sie nicht wegnehmen, ja nur unmerklich schwächen kann. Worin dieser Proceß bestehe, wird vielleicht noch lange unentschieden bleiben. (Man vergleiche übrigens die Artikel: Blitz, Blitzableiter, Donner, Elektricität, Gewitter, Spitzen, Wetterleuchten in den phys. Wörterbüchern.)

§. 2.

Das Reiben ist vor der Hand allerdings das wirksamste Mittel Elektricität zu erregen; und es ist nicht unwahrscheinlich, daß bei der Reibung jeder zwei Körper, besonders zweier ungleichartigen Elektricität erregt werde, die nur wegen ihrer geringen Stärke, oder wegen der vorhandenen Ableitungen nicht zu einer bemerkbaren Wirksamkeit gelangen kann. Doch weiß man gegenwärtig, daß es ausser dem Reiben noch sehr viele andere Mittel gebe, die Elektricität, wenn gleich in schwachen Graden, zu erregen.

Dahin gehört zuerst der große Einfluß, welchen Wärme und Kälte auf die elektrischen Erscheinungen haben. Sie verändern die leitende Kraft der Körper: glühendes Glas soll aufhören ein Nichtleiter, und gefrornes Wasser soll bei hoher Kälte aufhören ein Leiter zu seyn. Wird Kieselerde in einem Tiegel erhitzt, so zeigt sie ein elektrisches Anziehen gegen die Wände des Tiegels. Am auffallendsten sind die elektrischen Erscheinun-

gen des Turmalins, wenn er erwärmt wird. M. s. d. phys. W. B. Art. Turmalin.

Ein noch weitläuftigeres Feld zu Untersuchungen eröffnet sich hier für den Chemiker. Denn es hat den Anschein, als ob bei jedem chemischen Proceß in dem elektrischen Zustand der Körper Veränderungen vorgingen. Wenn Wasser durch Kochen in Dämpfe verwandelt wird, wenn Kohlen verbrennen, wenn Schwefel, Siegellack, Harz, Wachs geschmolzen, wenn Eisen in Schwefelsäure aufgelöst wird u. dgl. m. so zeigen sich Spuren von Elektricität. Es ist sehr zu wünschen, daß chemische Naturforscher diese Spur verfolgen mögen, die uns vielleicht zu vielseitigen wichtigen Aufschlüssen führen kann. Wie wichtig zu dergleichen Untersuchungen solche Geräthschaften sind, welche schwache Elektricitäten bemerklich machen, (XXXV. 9.), fällt von selbst in die Augen.

Der sogenannte Galvanismus.

§. 3.

Die wichtigste hieher gehörige Entdeckung unseres Zeitalters ist die, daß durch die bloße Berührung zweier Metalle in dem einen G in dem andern H erregt wird. Diese Entdeckung ist eine Quelle neuer und sehr merkwürdiger Untersuchungen geworden: denn man hat Mittel erfunden, diese Elektricität sehr beträchtlich zu verstärken; und sie bringt in diesem Zustande mehrere ganz eigenthüm-

liche Wirkungen hervor, so daß noch jetzt einige Naturforscher an der vollkommenen Identität derselben mit der Elektricität zweifeln. Man hat den ganzen Inbegriff dieser neuen Erscheinungen Galvanismus genannt, weil Aloysius Galvani zu Bologna die erste Veranlassung zu diesen Untersuchungen gab; ob wir gleich auch hier die wichtigsten Entdeckungen Volta's Scharfsinn verdanken.

§. 4.

Im Jahr 1791 entdeckte Galvani zufällig, daß der abgeschnittene und von der Haut entblößte Schenkel eines Frosches in dem Augenblick Zuckungen bekam, wo man zwei Metalle, wovon das eine einen Nerv, das andere einen Muskel berührte, unter sich zur Berührung brachte. Er fand, daß diese Erscheinung an allen Theilen des getödteten Thiers hervorgebracht werden konnte, daß aber die dazu nöthige Reizbarkeit der Muskeln nur eine Zeitlang nach dem Tode fortdauerte. Diese merkwürdigen Versuche wurden bald in ganz Europa von allen Naturforschern mit allen erdenklichen Abänderungen wiederholt. Folgendes sind die merkwürdigsten Beobachtungen und Entdeckungen, die theils von Galvani selbst, theils von andern Naturforschern hierbei gemacht wurden.

1) Die Erscheinung kann zwar durch jede zwei Metalle, ja auch durch einige andere Körper, als Kohle, Graphit, schwarzes krystallisirtes Braunsteinerz u. dgl. hervorgebracht werden, doch sind die

wirksamsten Erreger (Excitatoren) Zink in Verbindung mit Gold oder Silber oder Kupfer.

2) Statt zweier Metalle konnte man gleichsam eine kettenartige Verbindung mehrerer Körper (eine galvanische Kette) machen, deren eines Ende der Muskel, das andere der Nerv war. Die Wirkung erfolgte, sobald man in der Mitte die Kette schloß. Doch zeigte sich, daß nicht alle Körper dazu tauglich sind, sondern daß die elektrischen Leiter und Nichtleiter auch Leiter und Nichtleiter der hier wirksamen Kraft sind.

3) Man fand, daß es nicht nothwendig sey, daß das eine Ende der Kette sich an einen Nerv, das andere an einen Muskel ende. Beide können sich an einem Nerv, oder an Mukelfasern, die mit Nerven in Verbindung stehen, enden.

4) Die Gegenwart des Wassers scheint eine nothwendige Bedingung der Erregung zu seyn: denn, wenn die berührten Stellen des thierischen Körpers trocken sind, so erfolgt die Wirkung schwach, oder gar nicht.

5) Der Versuch gelingt bei allen Thieren, selbst bei abgenommenen Gliedern des menschlichen Körpers; aber die Erregbarkeit dauert bei kaltblütigen Thieren weit länger nach dem Tode fort, als bei warmblütigen.

6) Auch in dem lebenden Körper können durch die Berührung zweier Metalle merkwürdige Erscheinungen hervorgebracht werden. Auf einer

oder zwei wunden Stellen empfindet man einen sehr empfindlichen stechenden Schmerz, in dem Augenblick wo man zwei Metalle, welche diese Stellen berühren, unter sich zur Berührung bringt. Legt man ein Stück Zink unter die nasse Spitze der Zunge, und oben auf die Zunge Silber, und bringt man dann beide Metalle zur Berührung, so empfindet man einen unzweideutigen sauern Geschmack. Kehrt man die Ordnung der Metalle um, so ist der Geschmack anders, nämlich brennend oder stechend oder, wie einige wollen, alkalisch. Stemmt man ein Metall gegen den innern (benetzten) Augenwinkel, das andere zwischen die untere Lippe und Kinnlade, so sieht man in dem Augenblick, wo sich die Metalle berühren, einen Lichtschein vor den Augen, fast wie den Widerschein eines entfernten Blitzes. Auch in dieser Lichterscheinung will man eine feine Verschiedenheit wahrnehmen, wenn die Ordnung der Metalle verändert wird.

§. 5.

Ueber die Erklärung dieser Erscheinungen, waren die Naturforscher sehr verschiedener Meinungen. Einige glaubten, daß man eine ganz neue, bloß im thierischen Organismus wirksame Naturkraft entdeckt habe, die man daher thierische Elektricität nannte. Die meisten aber hielten die Erscheinungen für wirklich elektrisch, theilten sich aber in der Erklärung derselben. Galvani

vermuthete, daß das Innere der Nerven im lebenden Zustand Glaselektricität, die Muskeln, oder die äussere Bekleidung der Nerven Harzelektricität enthielten, und daß daher bei diesen Versuchen, etwas ähnliches, als bei Entladung einer Flasche geschehe. Volta hingegen hatte beobachtet, daß die bloße Berührung zweier Metalle in beiden einen schwachen Grad von Elektricität, und zwar in dem einen G, in dem andern H errege, und daß hierin, verbunden mit der schon lange vorher bekannten großen Empfänglichkeit der Nerven für die Einwirkungen der schwächsten Elektricität, der Grund der Erscheinungen liege: eine Vorstellungsart, die sich durch alle weiteren Versuche zu bestätigen scheint.

Die Volta'ische Säule.

§. 6.

Volta's Scharfsinn, nicht Zufall, leitete ihn auf die Entdeckung eines Mittels, wodurch diese Art der Elektricität auf eine bewundernswürdige Art verstärkt werden kann. Platten von Silber und Zink, oder von Kupfer und Zink, werden abwechselnd über einander geschichtet, aber jedes Paar wird von dem folgenden durch eine mit Wasser oder einer Salzauflösung befeuchtete Tuchplatte getrennt. Uebrigens muß die ganze Schichtung in immer gleicher Ordnung fortgehen: z. B. Silber, Zink, Tuch; Silber, Zink, Tuch; — —

— — — Silber, Zink, so daß die beiden äusserſten Enden der Säule mit dem einen Metall anfangen, und mit dem andern schließen. Bei diesem Bau der Säulen werden ihre beiden Enden, das Silber- und Zinkende, oder auch der Silber- und Zinkpol genannt, nach der äußersten Platte die sich am Ende findet. Um die Wirkungen der Säule in hinlänglicher Stärke wahrzunehmen, sind wenigstens 50 Plattenpaare nöthig. Die einzelnen Platten können von der Größe der Thalerstücke seyn. Ueber die Wirkung breiterer Platten, werden wir besonders reden.

Die ganze Säule wird gewöhnlich so aufgebaut, daß sie ganz isolirt ist. Die oberste und unterste Platte legt man gemeiniglich doppelt, und zwischen sie eine Scheibe von Messingblech, die auf einer Seite ein aus der Säule hervorragendes Häkchen hat, an welches bei den Versuchen Drähte angehängt werden können.

§. 7.

Die merkwürdigsten Versuche, die man mit einer solchen Säule machen kann, sind folgende:

1) Hängt man Metalldrähte an die Enden der Säule, und faßt mit jeder Hand einen derselben, so empfindet man in jeder Hand eine zitternde und fortdauernde Erschütterung. Die Wirkung wird stärker, wenn man beide Hände naß macht. Noch stärker, wenn man in jede Hand eine benetzte Metallmasse, z. B. einen silbernen Löf-

fel faßt, und damit die beiden Häkchen der Säule, oder die daran hängenden Drähte berührt. Oder man leitet beide Drähte in Gefäße mit Wasser, und berührt alsdann das Wasser mit beiden Händen u. drgl. m.

Man kann diese Erschütterung durch beliebige Theile des Körpers, auch durch eine Kette von mehreren Personen hindurch leiten.

2) Die oben §. 4. erwähnten Lichterscheinungen lassen sich leicht und auf mehrere Arten hervorbringen, z. B. wenn man eine Stelle über und unter dem Auge naß macht, und sie mit den beiden Drähten der Säule berührt. Für die Erregung des Geschmacks ist die Wirkung der Säule zu heftig. Sonst können alle §. 3. und 4. erwähnte Erscheinungen durch die Säule sehr verstärkt hervorgebracht werden.

3) Wenn man den Draht des einen Pols mit einem sehr empfindlichen Elektrometer in Verbindung setzt, den andern Pol aber ableitend berührt, so zeigt das Elektrometer einige Divergenz, und man hat sich auf diese Art überzeugt, daß an dem Zinkende allezeit G, an dem Kupferende H ausströmt. Auf ähnliche Art hat man kleine Condensatoren mit dieser Elektricität geladen; man hat aus ihnen kleine Funken erhalten, kleine Flaschen geladen, Lichtenbergische Figuren gezeichnet u. s. f., kurz alle Wirkungen der gewöhnlichen Elektricität hineingebracht. Doch gelingen diese

Versuche nicht immer, und scheinen ihre eigenen Schwierigkeiten zu haben.

4) Hängt man einen Eisendraht an das eine Ende der Säule, und berührt mit dem Ende desselben das andere Häkchen, so zeigt sich ein elektrischer Funke. Die Erscheinung erfolgt sichrer, wenn man etwas Schaumgold um das Ende des Drahts wickelt; der Goldschaum wird hiebei an der Stelle, wo ihn das Fünkchen trifft, verzehrt. Man hat durch diesen Funken Knall-Luft, und vermittelst des Goldschaums auch Phosphor und Schwefel entzündet u. dgl. m.

5) Der merkwürdigste Versuch, der sich mit der Säule machen läßt, ist zwar ein chemischer Versuch, den wir aber doch um der allgemeinen Uebersicht willen nicht übergehen dürfen, nämlich die Zersetzung des Wassers. Eine Glasröhre wird mit destillirtem Wasser gefüllt, und an beiden Seiten mit Korkstöpseln verschlossen. Durch diese gehen zwei Drähte ins Wasser, deren innere Enden einige Linien bis einen Zoll weit von einander abstehen. Gewöhnlich spitzt man sie inwendig zu, was aber unnöthig ist. Die äusseren Enden sind in Ringe umgebogen, wodurch sie mit den beiden Drähten der Säule in Verbindung gebracht werden.

Bestehen diese Drähte aus irgend einem unedlen Metall, oder auch aus Silber, so zeigen sich folgende Erscheinungen. Aus dem innern Ende desjenigen Drahts, der mit der Silber- oder Ku-

pferseite verbunden ist, scheint ein Strom von Bläschen herauszukommen, die sich oben im Glase zu einer größeren Luftmasse häufen. Sammelt man von dieser Luft soviel als zu einer Prüfung nöthig ist, so zeigt sich, daß es Wasserstoffgas (XXVII. 5.) ist. Das innere Ende des andern Drahts aber, der mit der Zinkseite der Säule zusammenhängt, belegt sich mit einem Oxyd desjenigen Metalls woraus der Draht besteht; woraus folgt, daß auf dieser Seite eine Entbindung von Sauerstoff statt hat (XXVII. 3.); so daß also beide Bestandtheile des Wassers (XXI. 6. III. 9.) zum Vorschein kommen.

Bestehen aber beide Drähte aus Platin oder reinem Gold (nicht vergoldetem Silber), so entbindet sich aus beiden Gas, und zwar auf der Zinkseite Sauerstoffgas. Giebt man der Röhre die Gestalt eines großen lateinischen V, so läßt sich leicht eine Vorrichtung erdenken, beide Gasarten abgesondert aufzufangen und zu prüfen.

Man kann diese Zersetzung zwar auch durch die gemeine Elektricität, aber weder so bequem, noch so lebhaft hervorbringen (m. s. Gilberts Annalen d. Ph. XI. 220).

Bei genauerer Betrachtung dieser Erscheinung zeigt sich ein sonderbarer Umstand. Man kann fragen, wo auf der Silberseite derjenige Sauerstoff, auf der Zinkseite derjenige Wasserstoff bleibe, der vor der Zersetzung an das entweichende Glas gebunden war.

Die wahrscheinlichste Antwort, die sich nach dem gegenwärtigen Standpunkt der Wissenschaft darauf geben läßt, ist, daß die obgleich nur schwache auflösende Kraft des Wassers gegen beide Stoffe (XXVII. 3 und 5.) hinreichend sey, beide unsichtbar aufzulösen, und dann bei der Berührung ihre Wiedervereinigung zu Wasser zu begünstigen.

Anm. Ritter hat aus dieser Erscheinung einen Einwurf gegen die Zersetzbarkeit des Wassers hergenommen, und derselben eine andere Erklärungsart der Erscheinungen entgegengesetzt, die Aufmerksamkeit verdient, aber uns noch lange nicht berechtigt, die bisherige zu verlassen. Er glaubt, das Wasser sey unzersetzbar, bilde aber durch Verbindung mit Glaselektricität Sauerstoffgas, durch Verbindung mit Harzelektricität Wasserstoffgas.

6) Ueberhaupt äussert die Elektricität der Säule, wie es scheint, in allen chemischen Wirkungen eine größere Wirksamkeit, als in den mechanischen. In der Säule selbst geschieht in den feuchten Tuchplatten nicht nur eine Zersetzung des Wassers, sondern, wenn sie mit Salzauflösungen befeuchtet sind, auch eine Zersetzung der Salze selbst; wobei die Metallplatten, zwischen denen das Tuch liegt, stark angegriffen und oxydirt werden. Daher sind mehrere Naturforscher der Meinung, daß mehr in diesen chemischen Processen als in der Berührung der Metalle die Quelle von der Elektricität der Säule zu suchen sey. Ohne Zweifel sind beide Ursachen zugleich wirksam. Denn wenn man statt einer Salzauflösung eine Säure, welche beide Me-

talle auflöst, zwischen die Platten-Paare bringt, so wird die Wirksamkeit der Säule sehr verstärkt.

§. 8.

Unter den neusten Beobachtungen über diesen Gegenstand ist die merkwürdigste, daß gewisse Wirkungen mit der Höhe der Säule, oder vielmehr mit der Anzahl der Platten-Paare, andere hingegen mit der Breite der Platten zunehmen.

Die Wirkungen auf den thierischen Körper, wachsen mit der Anzahl der Platten, sind aber bei breiten Platten, wenig oder gar nicht stärker, als bei kleinen. Dagegen erlangt der elektrische Funke eine unerwartete Stärke und chemische Wirksamkeit, wenn man Platten von 5 bis 8 Zoll Durchmesser anwendet. Besonders giebt es allem Ansehn nach kein Metall, das der Wirkung dieses elektrischen Feuers widerstehen könnte, und selbst die edlen Metalle schmelzen, und oxydiren sich mit einer schönen Lichterscheinung, d. h. sie verbrennen, nur müssen sie in sehr dünn geschlagenen Blättchen zu diesen Versuchen angewendet werden.

§. 9.

Man hat vermittelst großer Säulen, aus breiten Platten höchst unerwartete Entdeckungen in dem Gebiet der Chemie gemacht. Besonders hat Davy entdeckt, daß die Alkalien und reinen Erden nicht, wie es sonst den Anschein hatte, einfache Stoffe, sondern aus einem metallähnlichen Bestandtheil (Metalloxid), und aus Oxy-

gen zusammengesetzt sind. Die Chemie hat also durch die Voltaische Säule ein neues wunderbares Zersetzungsmittel erhalten, welches ohne Zweifel die Gränzen der Wissenschaft sehr erweitern wird. (Gilberts Annalen Bd. 31 — 42).

Anm. Der Besorgniß, daß durch so tief eingreifende Entdeckungen, das bisherige System der Chemie untergraben, und ganz umgestürzt werden dürfte, kann man nur Raum geben, wenn man nicht scharf unterscheidet zwischen Thatsachen und erwiesenen Wahrheiten auf der einen Seite, und Hypothesen auf der andern. Jene bleiben eweg fest, können aber erweitert werden; dem Wechsel sind nur die letztern unterworfen.

§. 10.

Es ist bei allen Versuchen mit der Säule ein beschwerlicher Umstand, daß sich die Metallflächen da, wo sie die feuchten Leiter berühren, schnell und stark oxydiren. Dadurch wird die Wirksamkeit der Säule bald vernichtet, und die Reinigung der Platten ist mühsam. Man hat daher häufig versucht, Säulen aus bloßen trocknen Stoffen zusammen zu setzen. Diese Versuche sind nicht ohne Erfolg geblieben, und man kann z. B. eine sogenannte trockne Säule auf eine höchst einfache Art, aus Platten-Paaren, von sogenanntem Gold- (Kupfer-) und Silber- (Zink-) Papier zusammensetzen, wenn man die Scheiben so zusammenlegt, daß die Metallflächen einander berühren, die Papiermasse aber die Stelle des feuchten Leiters vertritt. Zamboni, de Lüc, Bohnen-

nenberger, u. a. haben auf verschiedene Art dergleichen Säulen zusammengesetzt. Man kann zwar nicht sagen, daß durch dergleichen Säulen wichtige Entdeckungen gemacht wären, doch sind sie nicht unmerkwürdig. Besonders verdient der Umstand Aufmerksamkeit, daß die mechanischen Wirkungen der Säule (Anziehen und Abstoßen) dadurch in beträchtlicher Stärke erhalten werden, daß aber von den chemischen Wirkungen sich nur schwache Spuren zeigen. Es wäre wohl der Mühe werth, die Versuche mit möglichst großen und zahlreichen Platten zu wiederholen. Nähere Nachricht über dieselben findet man in Gilberts Annalen der Jahre 1715 und 1716.

Anwendung der Symmerschen Hypothese auf die Säule.

§. 11.

Volta's Scharfsinn verdanken wir den ersten gründlichen Versuch über die Theorie der Säule. Er hatte unabhängig von Galvani's Entdeckungen bemerkt, daß, wenn sich zwei ungleichartige Metall-Platten, besonders Kupfer und Zink berühren, in dem Gleichgewicht ihrer Elektricität eine Veränderung vorgehe. Wenn vor der Berührung keine von beiden Platten Elektricität zeigte, so zeigt sich durch feine elektrometrische Vorrichtungen nach der Berührung in der Zinkplatte freie G, in der Kupferplatte freie H. Da Volta viele Metalle

und andere Körper in dieser Rücksicht untersucht hatte, so zeigte sich, daß man zwei Arten von Leitern unterscheiden müsse: 1) Erreger (Commotoren oder Excitatoren), welche zwar der Elektricität einen Durchgang gestatten, aber zugleich bei der Berührung auf die eben erwähnte Art G und H anders unter sich vertheilen, 2) bloße Leiter, welche nur der Elektricität einen Durchgang gestatten, ohne in ihrem Gleichgewicht eine Veränderung zu machen. Zwar urtheilte Volta selbst, daß es vielleicht keinen absoluten Leiter der zweiten Art gebe, aber bei vielen ist die erregende Kraft so schwach, besonders bei dem Wasser, daß sie sich der Beobachtung entzieht.

§. 12.

Diese Bemerkungen leiteten Volta'n auf die Erfindung der Säule. Denn stellt man sich zuerst ein einziges Platten-Paar auf einer nicht isolirenden Unterlage vor, und zwar das Kupfer unten, so wird in diesem die H, im Zink die G, ein kleines Uebergewicht erhalten. Legt man also auf dieses Paar einen Leiter der zweiten Art (feuchtes Tuch), und hierauf ein zweites Platten-Paar, so muß sich die Elektricität der untern Zinkplatte gleichförmig durch den feuchten Leiter, und die untere Kupferplatte des zweiten Paars verbreiten. Da nun die untere Zinkplatte einen Ueberschuß an G hatte, so muß sich dieser auch im feuchten Leiter, und in der zweiten Kupferplatte finden. Da aber das

Zink immer gegen berührendes Kupfer einen Ueberschuß an G hat, so muß in der zweiten Zinkplatte eine größere Menge von freiem G als in der ersten enthalten seyn. Fährt man nun fort die Säule durch Auflegung von feuchten Leitern und Platten-Paaren, ganz gleichförmig aufzubauen, so überzeugt man sich leicht durch Fortsezzung eben der Schlüsse, daß durch die ganze Säule in den Zinkplatten die freie G von unten bis oben zunehmen müsse. Durch ähnliche Schlüsse aber wird klar, daß die freie H der Kupferplatte von unten nach oben mit jedem Platten-Paare abnehmen, oder von oben nach unten zunehmen müsse. Wenn der Ueberschuß von G im Zink in allen Paaren gleich groß, so sieht man leicht, daß die G von unten nach oben, und eben so im Kupfer die H von oben nach unten in arithmetischem Verhältniß zunehmen müsse, welches mit vorgenommenen Messungen der Elektricität ziemlich gut zu stimmen scheint.

Da wir angenommen haben, die Säule sey unten nicht isolirt, so begreift man, wie durch Zuströmung der GH aus dem Boden sich die Elektricität in der Säule beträchtlich anhäufen müsse. Ist aber die Säule unten isolirt, so vermehrt sich zwar die Menge der in der ganzen Säule enthaltenen GH nicht, aber die G verdichtet sich gegen oben, und die H gegen unten.

Ist die Säule nicht isolirt, und man bringt

auch oben am Zinkende eine Ableitung an, so muß ein Strömen beider Elektricitäten entstehen. Die freie G des Zinks strömt oben, und die freie H des Kupfers unten ab. Aber statt ihrer dringt durch beide Leitungen nur GH hinzu, und vertheilt sich in der Säule auf die beschriebene Art.

Verbindet man die beiden Ableitungen untereinander, so entsteht ein kreisartiger Umlauf der Elektricitäten. Die G des obern Endes strömt nach unten, und die H des untern Endes nach oben, so daß sich in der geschlossenen Kette beide begegnen.

Es ist denkbar, daß durch dieses Strömen alle die oben erwähnten Wirkungen hervorgebracht werden. Besonders sieht man auch, warum hier Feuchtigkeit nöthig, die Isolirung aber gar nicht so nothwendig ist, als bei der gemeinen Elektricität.

Anm. 1) Versteht man unter G und H nicht Materie, sondern nur die Erscheinungen beider Elektricitäten, so enthält diese Erklärung gar nichts Hypothetisches (ausser daß in den feuchten Leitern gar keine Erregung statt finde). Sie wird daher ohne Zweifel immer die Grundlage einer Theorie bleiben, und ist in diesem Sinne, selbst auf die Franklinsche Vorstellungsart (deren sich Volta immer bediente) anwendbar, wenn man sich unter H immer nur einen verhältnißmäßigen Mangel an G vorstellt.

2) Wenn man annimmt, daß der Ueberschuß von G in der Zinkplatte gegen das in der Kupferplatte enthaltene G, in allen Paaren gleich groß sey, so lassen sich sehr leicht Formeln angeben, um den elektrischen Zustand jeder Platte zu bestimmen. Indessen

dürften diese Formeln doch sehr unsicher seyn, theils weil die oben erwähnte Annahme unsicher ist, theils weil dabei auf eine thätigere Mitwirkung des Zwischenleiters nicht gerechnet ist, die doch offenbar statt findet, da eine Veränderung der angewendeten Flüssigkeiten (Wasser, Salzauflösung, Säure), offenbar von sehr großem Einfluß ist.

§. 13.

Ueber die Mitwirkung der feuchten Leiter haben sich verschiedene Naturforscher verschiedene Vorstellungen gemacht. Vielleicht ist folgende nicht ohne Wahrscheinlichkeit:

Wir haben schon anderwärts (z. B. C. 36. §. 2.) bemerkt, daß bei chemischen Zersetzungen und Zusammensetzungen, jederzeit die Elektricität eine (vielleicht sehr wichtige) Rolle spiele. Nun lehrt die Erfahrung, daß die Feuchtigkeit in den Leitern der Säule allezeit eine Zersetzung leidet. Nimmt man daher an, daß mit dieser Zersetzung auch eine Trennung von G und H, der in ihnen enthaltenen GH verbunden sey, so begreift man, daß die frei gewordene G sowohl als H den Strömen folgen müsse, wodurch sich das Verhältniß beider in allen Theilen der Säule bildet, und daß hierdurch die Anhäufung von G oben, und von H unten vermehrt werde. Eine Ansicht, der wir keinen andern als hypothetischen Werth beilegen.

§. 14.

Vollständigere Belehrungen über die Elektri-

cität findet man zwar, ausser vielen andern Büchern, in unsern physicalischen Wörterbüchern, aber sie enthalten nichts von den neuern Entdeckungen. Wer sich vollständig unterrichten will, muß hauptsächlich Gilberts Annalen durchgehen, wo aber die Abhandlungen in allen Bänden zerstreut sind. Besonders reichhaltig sind die Jahrgänge von 1809 bis 1812. Eine vortreffliche Abhandlung über die Elektricität hat uns Biot im 2ten Theile seines vortrefflichen 1816 zu Paris in 4 Theilen erschienenen Werks: Traité de Physique expérimentale et mathematique, gegeben. Unter den deutschen neuen Handbüchern erwähne ich nur Schmidts Handbuch der Naturlehre, wovon 1813 in Gießen die zweite Ausgabe erschienen ist. Sie enthält in gedrängter Kürze viel Gründliches.

Siebenter Abschnitt.

Von der magnetischen Kraft.

Siebenunddreißigstes Capitel.

Von den allgemeinen Eigenschaften des Magnets.

§. 1.

Unter den schwarzen Eisenerzen, worin das Eisen im Zustande einer schwachen Oxydation enthalten ist, finden sich oft Stücke, welche die bekannte wunderbare Eigenschaft besitzen, das Eisen durch eine unsichtbare Kraft anzuziehen, und zwar bisweilen in beträchtlichen Massen. Diese nennt man natürliche Magnete. Man kann aber auch dem metallischen Eisen und dem Stahl diese Kraft durch Kunst mittheilen: dieß sind künstliche Magnete. Man glaubte sonst, daß die magnetische Kraft dem Eisen ausschließend eigen sey: man weiß aber jetzt, daß noch zwei andere Metalle, Nickel und Kobalt, an den magnetischen Eigenschaften Theil nehmen, und dieß um so stärker, je reiner sie sind. Da es indessen schwer ist, diese Metalle ganz rein und in beträchtlichen Massen zu erhalten, so sind die Versuche mit den-

selben nicht ohne Schwierigkeiten. Doch hat man sich überzeugt, daß sie des Magnetismus in seinem ganzen Umfange empfänglich sind. Nach Coulomb's Behauptung nehmen sogar alle festen Körper an den magnetischen Eigenschaften Theil, nur so schwach, daß sich ihre Kraft unsern Beobachtungen entzieht, und nur in gewissen äusserst feinen Versuchen bemerklich wird.

Anm. Ueber den Magnetismus anderer Körper ist zu vergleichen: Gilbert IV. St. 1. V. 384. XI. 367. XII. 194. und in mehrern andern Stellen.

Verhalten des Magnets gegen unmagnetisches Eisen.

§. 2.

Metallisches Eisen und schwarzes Eisenoxyd (aber nicht stärker oxydirtes), haften an einem Magnet mit beträchtlicher Kraft an. Die Größe dieser Kraft, läßt sich durch das Gewicht des Eisens messen, welches der Magnet zu tragen vermag. Sie hängt nicht von der Größe des Magnets ab: denn es giebt große Magnete die wenig, und kleine die sehr viel (wohl mehr als das Zehnfache ihres eigenen Gewichts) tragen. Die Erfahrung lehrt übrigens, daß die Kraft bei einem und demselben Magnete veränderlich ist.

§. 3.

Die magnetische Kraft äussert sich nicht in allen Punkten der Oberfläche mit gleicher Stärke. Gewöhnlich giebt es zwei (selten mehr) Stellen,

die am stärksten ziehn, und die man Pole des Magnets nennt. Man kann die Pole sichtbar machen, wenn man den Magnet in Eisenfeile legt, die sich in ihrer Gegend stärker als anderwärts an den Magnet anhängt. Auch kann man sie durch ein kleines Stückchen dünnen Eisendrahts finden. Wo ein Pol ist, hängt es sich mit einer Spitze an den Magnet, und steht senkrecht auf der Oberfläche. Anderwärts hangt es zwar auch an, nimmt aber eine schiefe, hauptsächlich gegen den nächsten Pol gerichtete Lage an. Auf Stellen die von beiden Polen ungefähr gleichweit abstehen, legt es sich platt an die Oberfläche an. In der Folge werden wir in der Magnet-Nadel ein noch genaueres und bequemeres Mittel zu diesem Zweck kennen lernen.

§. 4.

Wenn beide Pole zugleich auf das Eisen wirken können, so wird die magnetische Anziehung verstärkt. Man giebt daher den künstlichen Magneten oft die Gestalt eines Hufeisens, an dessen beiden Enden die Pole liegen. Dann legt man ein Stück weiches Eisen, das man den Anker nennt, an beide, und belastet diesen mit so vielem Eisen, als der Magnet tragen will.

§. 5.

Die magnetische Kraft wirkt nicht bloß bei der Berührung. Eisenfeile springt gegen einen etwas kräftigen Magnet in die Höhe. Sie nimmt aber mit der Entfernung ab. Das Grundgesetz aber,

nach welchem sie abnimmt, kennt man noch nicht. Denn ob es gleich eben nicht schwer ist vermittelst einer Wage, an welcher man entweder den Magnet, oder das Eisen, das er ziehn soll, befestigt, und ins Gleichgewicht setzt, die Größe der anziehenden Kraft, für jede Entfernung zu bestimmen, so haben doch die Versuche gelehrt, daß das Gesetz der Abnahme durch die Gestalt, Größe und Lage beider Körper auf so mannigfaltige Art modificirt wird, daß es schwer ist, das eigentliche Grundgesetz und den Einfluß der modificirenden Umstände sicher zu bestimmen.

Anm. Coulomb, der eine Menge scharfsinniger und feiner Untersuchungen über die magnetischen Kräfte angestellt (Gren's neues Journ. d. Ph. B. II. S. 298 u. f.), hat vermittelst einer magnetischen Wage (die auf ähnlichen Gründen, als die oben XXXV. 13 u. f. beschriebene elektrische beruht) gezeigt, daß auch die magnetische Kraft im umgekehrten Verhältniß mit dem Quadrat der Entfernung abnehme. Man vergleiche, Hauy's Physik (übersetzt von Weiß. Leipzig 1804.) Th. II. §. 546 u. f. Biot Essai de Phys. exp. et math. Vol. III. p. 63 u. f. Man sieht übrigens leicht, daß Versuche und Untersuchungen hierüber nicht ohne Schwierigkeit sind. Denn da man die magnetische Kraft nicht in einen einzigen Punkt, oder sehr kleinen Körper concentriren kann, sondern sie immer, und zwar in ungleicher Stärke über einen Körper von beträchtlicher Größe ausgebreitet ist, so ist die Wirkung die man erhält auf jeden Fall das Resultat von unendlich vielen Anziehungen und Abstoßungen, also etwas sehr verwickeltes.

§. 6.

Legt man einen Magnet unter eine ebene Scheibe von Glas, Holz, Pappe, Metall oder wovon man sonst will, nur nicht von Eisen, und streut dann Eisenfeile auf die Fläche, so ordnen sich die Späne reihenweise an einander, und bilden krumme Linien, die aus dem einen Pol heraus, und in den andern hineinzugehen scheinen, so daß man die Stellen der Pole sehr deutlich unterscheiden kann.

Dieser Versuch lehrt zugleich, daß die magnetische Kraft ungehindert durch alle Körper hindurch wirkt, mit Ausnahme des Eisens, welches nach Verschiedenheit seiner Lage die Wirkung eines Magnets bald befördert, bald schwächt. Ja wir werden in der Folge (§. 10.) sehen, daß die Wirkung der Kraft nicht einmal durch dazwischen liegende Körper im geringsten geschwächt wird. Es ist daher leicht sowohl einen Magnet, als das Eisen das er ziehen soll, zu verbergen, worauf die unzählbare Menge von magnetischen Kunststücken beruht.

§. 7.

Man kann die Kraft eines Magnets erhalten, ja oft noch verstärken, wenn man ihn so viel tragen läßt, als er tragen kann. Auch ist es zuträglich, seine Pole in der ihnen natürlichen Lage (§. 8.) zu erhalten. Läßt man ihn müßig liegen, so schwächt sich seine Kraft allmählig. Kleine Magnete kann man in Eisenfeile legen. Rost schwächt die magnetische Kraft. Starkes Erhitzen, das sich dem Glü-

hen nähert, zerstört sie. Auch hat man beobachtet, daß ein Fall, oder Schläge mit einem Stein, auch der elektrische Schlag, der magnetischen Kraft bisweilen nachtheilig sind.

Verhalten des Magnets für sich.

§. 8.

Wenn man einen Magnet auf irgend eine Art in die Lage versetzt, daß er sich in horizontaler Richtung frei drehen kann, so nimmt er allezeit von selbst eine bestimmte Richtung gegen die Himmelsgegenden an, indem sich einer seiner Pole gegen Mitternacht, der andere gegen Mittag wendet. Jenen nennt man daher den Nordpol, diesen den Südpol des Magnets. Man nennt diese wunderbare Eigenschaft die Polarität des Magnets.

Auf ihr beruht die Einrichtung der Magnetnadel, die nichts als ein kleiner Magnet von Stahl ist, der sich auf einer feinen Spitze sehr frei horizontal drehen kann. Wie unschätzbar wichtig dieses einfache Werkzeug für die Schiffahrt, und durch sie für das ganze menschliche Geschlecht geworden ist, muß jedem Nachdenkenden einleuchten. Man kennt den Entdecker desselben nicht, und setzt nun sehr unsicher die Zeit der Entdeckung zwischen das zwölfte und vierzehnte Jahrhundert. Die Alten kannten sie nicht, ob ihnen gleich der Magnet und seine anziehende Kraft gar nicht unbekannt war.

So verschieden übrigens Anziehung des Eisens und Polarität auf den ersten Blick scheinen, so werden wir doch in der Folge sehen, daß die Polarität selbst nur die Wirkung von einer magnetischen Anziehung des ganzen Erdkörpers ist.

Verhalten eines Magnets gegen den andern.

§. 9.

Zwei Magnete ziehen einander in gewissen Punkten an, und zwar noch stärker, als Magnet und Eisen, in andern stoßen sie einander ab: und vermittelst zweier Magnetnadeln, oder auch eines Magnets und einer Magnetnadel, läßt sich sehr leicht das Gesetz dieser Erscheinungen sichtbar machen:

daß ungleichnamige Pole (Nord- und Südpol) einander anziehen, gleichnamige hingegen (Nord- und Nordpol, oder Süd- und Südpol) einander abstoßen.

Man nennt daher auch die ungleichnamigen Pole freundschaftliche, und die gleichnamigen feindliche.

In diesem Gesetz liegt ein sehr leichtes Mittel, die Pole eines Magnets zu finden, und namentlich zu bestimmen.

§. 10.

Da ein mäßig starker Magnet schon in beträchtlicher Entfernung auf eine gute Magnetna-

del wirkt, so läßt sich sehr deutlich zeigen, daß die magnetische Kraft, durch keine zwischen beide gelegte Körper geschwächt wird.

Mittheilung des Magnetismus.

§. 11.

Man kann einem kleinen Stück Eisen schon durch einen einzigen, oder durch mehrere Striche mit dem Pol eines Magnets, eine merkliche magnetische Kraft mittheilen, wobei nur die Regel zu beobachten ist, daß man immer nur nach derselben Richtung streichen muß, weil ein rückwärts gemachter Strich die schon mitgetheilte Kraft wieder schwächt. Eine der wirksamsten Arten des Streichens ist folgende. Es sey ns Fig. 53. ein unmagnetisches Eisen, NS ein Magnet, N der Nordpol, und S der Südpol desselben. Man legt den Magnet auf das Eisen, wie die Figur zeigt, daß der Nordpol auf der Mitte des Eisens liegt; dann drückt man den Magnet ein wenig an, und zieht ihn in der Richtung von N nach S auf dem Eisen bis zu Ende fort; dann bringt man durch einen Umweg den Magnet wieder in die erste Lage, und wiederholt das Streichen auf dieselbe Art öfters. Nachher legt man den Magnet auf die andere Hälfte des Eisens, so daß nun der Südpol auf die Mitte des Eisens kömmt: dann streicht man die zweite Hälfte in der entgegengesetzten Richtung von S gegen N eben so oft als die erste Hälfte,

so erhält das Eisen dadurch eine beträchtliche magnetische Kraft.

Weiches Eisen nimmt die Kraft schneller an; Stahl bindet sie dauerhafter.

Man nennt das Streichen mit einem einzigen Magnet, den *einfachen Strich*. Vom *Doppelstrich* der mit zwei Magneten gemacht wird, sind größere Werke nachzusehen.

Anm. Herr Biot erinnert, daß es bei der Mittheilung des Magnetismus durch Streichen besser sey, den streichenden Magnet unter einem Neigungswinkel von 10 bis 12 Grad gegen das Eisen zu halten, als ihn ganz auf dasselbe zu legen.

§. 12.

Ein allgemeines Gesetz bei allen Arten von Mittheilung ist es:

daß die Stellen die einander zuletzt berühren freundschaftliche, also ungleichartige Pole werden.

Bei der beschriebenen Art des Streichens muß also s ein Südpol, und n ein Nordpol werden.

§. 13.

Der Magnet verliert durch ein regelmäßiges Streichen wenig oder nichts von seiner Kraft. Man kann daher durch einen einzigen Magnet sehr viele Stäbe magnetisiren, und durch Verbindung derselben einen sehr starken Magnet machen, welches man ein *magnetisches Magazin* nennt.

Vertheilung des Magnetismus und magnetischer Wirkungskreis.

§. 14.

So lange ein Stück Eisen an einem Magnet hängt, ja wenn es nur in die Nähe desselben kommt, so ist es selbst magnetisch. Dieser Magnetismus verschwindet aber wieder, bis auf einen kleinen Ueberrest, sobald man das Eisen vom Magnet wieder entfernt.

Man sagt, das Eisen sey in diesem Falle nicht durch Mittheilung, sondern durch Vertheilung der magnetischen Kraft, magnetisch; und den Raum innerhalb dessen sich diese Erscheinung zeigt, nennt man den magnetischen Wirkungskreis. Eine gewisse Aehnlichkeit mit der Vertheilung der Elektricität und dem elektrischen Wirkungskreise ist nicht zu verkennen.

Durch eine Magnetnadel kann man sehr leicht folgendes Gesetz bemerklich machen, welches allezeit bei der Vertheilung der magnetischen Kraft statt findet,

daß das Eisen an der Seite, die dem Magnet zugewendet ist, einen Pol erhält, der gegen den nahen Pol des Magnets freundschaftlich ist; folglich das andere Ende einen feindlichen oder gleichnamigen Pol hat.

§. 15.

Diese Aehnlichkeit mit der Elektricität hat Hypothe-

pothesen über die Ursache des Magnetismus veranlaßt, die der Franklinschen und Symmerschen Hypothese ähnlich sind.

Aepinus nahm eine einzige magnetische Materie an, deren Theile einander abstoßen, vom Eisen und Stahl aber angezogen werden. Sie ist überall gleichförmig verbreitet. Im Eisen ist sie gehäuft, aber gleichförmig. Im Magnet ist auf der einen Seite Ueberfluß, positiver Magnetismus, oder + M; auf der andern Seite ist Mangel, negativer Magnetismus, oder — M.

Wilke und Brugmann nehmen zwei magnetische Materien an: beide ziehen einander an; die Theile jeder einzeln stoßen sich zurück. Im Eisen finden sich beide im gebundenen Zustand; im Magnet sind sie getrennt, und jede auf einer Seite gehäuft.

Schwerlich ist eine dieser Hypothesen richtig; aber die letzte ist ein bequemes Mittel, die Gesetze des Magnetismus an eine sinnliche Vorstellung zu knüpfen.

Die ältern Hypothesen von des Cartes, Euler, Bernoulli ꝛc., welche sich vorstellten, daß sich eine Materie in wirbelnder Bewegung in dem Magnet befinde, sind gezwungener und weniger genugthuend.

§. 16.

Aus dem Gesetz der Vertheilung erklären sich sehr genugthuend die oben §. 6. erwähnten krum-

men Linien, welche feine Eisenspäne durch die magnetische Anziehung bilden.

§. 17.

Auf eben dem Gesetz beruht die sogenannte Armatur eines natürlichen Magnets. Es sei A sn Fig. 54. ein natürlicher Magnet; sein Südpol S; sein Nordpol N. An beiden Stellen sey die Masse eben gefeilt. Ein Stück weiches Eisen BC, werde nun so gefeilt, daß es sich an den Magnet, und besonders an die Pole desselben dicht anschließt. Gerade unter den Polen giebt man ihm zwei Füße S und N. Den übrigen Körper des Magnets bekleidet man mit einer Hülle DEF von Messingblech, und versieht diese oben bei F mit einem Ringe, um das Ganze aufhängen zu können. An die beiden Füße legt man dann einen Anker (§. 4.), um ihn bequemer belasten zu können. Diese Vorrichtung ist es, was man die Armatur (Bewaffnung) eines natürlichen Magnets nennt.

In dieser Verbindung wird das weiche Eisen BC selbst durch Vertheilung ein Magnet, der seinen Südpol in S, und seinen Nordpol in N hat.

Die Erfahrung hat gelehrt, daß ein gewaffneter Magnet stärker und dauerhafter zieht als ein ungewaffneter.

Achtunddreißigstes Capitel.

Genauere Erörterung der Erscheinungen einer Magnetnadel.

§. 1.

Wenn eine noch nicht magnetische Nadel so gearbeitet wird, daß sie auf ihrer Spitze vollkommen horizontal schwebt, und man magnetisirt sie nun, so ist das Gleichgewicht verschwunden, und sie neigt in unsern Gegenden ihr nördliches Ende sehr tief gegen die Erde herab. Aus dieser Erscheinung folgt, daß die Kraft, welche die Richtung der Magnetnadel bewirkt, in unsern Gegenden nicht horizontal, sondern unter einem sehr beträchtlichen Neigungswinkel gegen den Horizont wirke. Will man daher die Erscheinungen der Magnetnadel vollständig beobachten, so sind dazu zwei Arten von Nadeln nöthig; eine zur Untersuchung der horizontalen Richtung der Nadel (Declinationsnadel); eine andere zur Untersuchung ihrer natürlichen Neigung gegen den Horizont (Inclinationsnadel).

Die Declinationsnadel.

§. 2.

Man macht das nördliche Ende einer Declinationsnadel leichter als das südliche, so daß sie nach Mittheilung des Magnetismus vollkommen horizontal schwebt. Dann schließt man sie in ein Gehäuse

Bayerische Staatsbibliothek München

von Messing, und umgiebt sie mit einem Kreise, der entweder in Grade, oder für den Schiffer in 32 Windstriche eingetheilt ist.

Eine solche Nadel bekommt verschiedene Namen, nach dem besondern Zweck, wozu sie eingerichtet ist. Ist sie zu genauen Untersuchungen über die Richtung der Nadel in physikalischer Hinsicht bestimmt, so heißt sie ein Declinatorium. Man macht sie 6 bis 12 Zoll lang. Die Nadel und die Eintheilung des Randes müssen äußerst genau gearbeitet seyn. Wird sie für den Gebrauch der Schiffer eingerichtet, so heißt sie ein Schiffs-Compaß. Auch kann sie als ein sehr brauchbarer Winkelmesser dienen, dann heißt sie eine Boussole.

Anm. Die beste Vorrichtung der Magnetnadel zu genauen Versuchen, besteht darin, daß man sie an einem einfachen Seidenfaden, wie er vom Cocon abgewickelt wird, aufhängt. Bei dieser Vorrichtung sind alle Hindernisse der freien Bewegung fast ganz gehoben. Bloß der geringe Widerstand der Luft und einer fast ganz unmerklichen Drehungskraft bleiben übrig. Coulomb ist der Erfinder dieser Vorrichtung, welche der oben bei der elektrischen Wage beschriebenen ganz ähnlich ist. Wenn man in gedrängter Kürze die Erscheinungen des Magnetismus und die genauesten Beobachtungsarten kennen lernen will, so muß man zwei Abhandlungen des Herrn Coulomb in den Mémoires de l'Institut lesen; Tom. V. über die Bestimmung der Inclination von jedem Ort, und Tom. VI. über die sichersten und einfachsten Mittel eine Nadel bis zur Sättigung zu magnetisiren.

(Anm. des französischen Uebersetzers).

§. 3.

Vergleicht man die Richtung einer Declinationsnadel, mit einer astronomisch gezogenen genauen Mittagslinie, so zeigt sich, daß sie in unsern Gegenden nicht genau nach Norden gerichtet ist, sondern ungefähr 19 Grad westlich abweicht (declinirt, daher der Name Declinationsnadel). So wie man die wahre Nordlinie, den astronomischen Meridian nennt, so nennt man die Richtung der Magnetnadel den magnetischen Meridian.

§. 4.

Die Abweichung ist aber nicht an allen Orten gleich. Wenn man von Europa aus westlich oder östlich geht, so findet man auf beiden Wegen, je weiter man fortrückt, desto geringere westliche Abweichung. Durch Nordamerika geht ein Strich, der ungefähr in südöstlicher Richtung am Mexicanischen Meerbusen und Brasilien, ins Atlantische Meer herunter geht, wo die Abweichung Null ist. Ein anderer dergleichen Strich läuft in ähnlicher Richtung mitten durch Asien und das ganze Südmeer. Jenseits dieser beiden Striche weicht die Nadel östlich ab; am stärksten ungefähr in der Mitte zwischen beiden (m. s. den Art. Abweichung der Magnetnadel, in den physik. Wörterbüchern).

§. 5.

Es ist aber auch die Abweichung an

jedem Ort veränderlich. Im siebzehnten Jahrhundert ging der jetzt durch Amerika gehende Strich, wo die Abweichung Null ist, durch Europa; seit dieser Zeit hat er sich mit westlicher Bewegung von uns entfernt, und so drehen sich alle die Striche, welche gleiche Declination haben, in dem Zeitraum von einigen Jahrhunderten um die Erde herum. Man sieht aber leicht ein, was hieraus für Veränderungen der Declination an jedem Orte erfolgen müssen. Die westliche Abweichung nimmt langsam zu, bis sie eine gewisse Gränze (bei uns 19 bis 20 Grade) erreicht hat; dann fängt sie an langsam zurückzugehen, wird zu einer gewissen Zeit Null, geht dann in östliche Abweichung bis zu einer gewissen Gränze über, und rückt dann wieder zurück u. s. f. Es werden indessen die fortgesetzten Beobachtungen mehrere Jahrhunderte erforderlich seyn, um die Periode, und die Gesetze dieser Bewegung mit Sicherheit angeben zu können. Nach den bisherigen Beobachtungen, die ungefähr erst seit anderthalbhundert Jahren, und nur an wenigen Orten mit der erforderlichen Genauigkeit angestellt sind, scheint die Bewegung nicht sehr regelmäßig zu seyn.

Anm. Herr Biot bemerkt, daß es nicht einmal sicher sey, ob die Nadel, eine solche nach West und Ost oscillirende Bewegung mache, als im §. angedeutet worden, da die Nadel schon seit einer beträchtlichen Reihe von Jahren, in ihrer größten westlichen Abweichung still zu stehen scheine.

§. 6.

Außer dieser großen Bewegung findet noch eine sehr merkwürdige kleine tägliche Bewegung statt, die aber nur mit großen und sehr genauen Nadeln beobachtet werden kann. In den Vormittagsstunden rückt die Nadel ein klein wenig westlich fort, in der ganzen übrigen Zeit kehrt sie wieder mit einer kleinen östlichen Bewegung zurück. Graham entdeckte diese Bewegung 1722. Wargertin und Canton haben die Beobachtungen wiederholt und fortgesetzt. Der letzte genannte Naturforscher hat durch Versuche gezeigt, daß die Wärme einen Einfluß auf die magnetische Kraft hat, der genauer untersucht zu werden verdient.

Die Inclinationsnadel.

§. 7.

Ein auf beiden Seiten zugespitzter Streifen Stahl, der einige Zoll lang ist, wird genau in seinem Schwerpunkt durchbohrt, und eine kurze Achse in dem Loche befestigt, die sich in zwei feine Spitzen endigt. Die Nadel wird auf einem Gestell so befestigt, daß sie eine freie lothrechte Bewegung, um die Spitzen der Achse machen kann. Da sie sich um ihren Schwerpunkt dreht, so muß sie, ehe sie magnetisirt wird, in jeder Lage still stehen; wird sie aber magnetisirt, so wird das nördliche Ende derselben sehr tief herabsinken. Um ihre Neigung gegen den Horizont (Inclination)

zu messen, muß ein genau eingetheilter Gradbogen an dem Gestell angebracht seyn.

Die genaue Ausarbeitung einer solchen Nadel hat große Schwierigkeiten, und ein gutes Inclinatorium gehört zu den Seltenheiten eines physicalischen Apparats.

§. 8.

Auch der richtige Gebrauch der Inclinationsnadeln, erfordert große Genauigkeit, indem die Nadel aufs genaueste über einem richtigen magnetischen Meridian stehen muß, wenn sie die Inclination richtig anzeigen soll. In jeder andern Lage sinkt sie zu tief, und selbst bis zur lothrechten Lage herab. Den Grund davon sieht man leicht ein, wenn man die Nadel so dreht, daß sie mit dem magnetischen Meridian einen beträchtlichen Winkel macht, und dann sich an ihrer Spitze einen Faden befestigt vorstellt, der in der Richtung der magnetischen Kraft gezogen würde.

Anm. des Herrn Biot. Man kann die Neigung in allen Richtungen beobachten, ohne die Richtung des magnetischen Meridians zu kennen, vermöge folgender Eigenthümlichkeit, die ich glaube zuerst bemerkt zu haben.

Wenn man die Neigung der Nadel gegen den Horizont in zwei Vertikalkreise, die gegen einander eine winkelrechte, sonst beliebige Lage haben, theilt, so ist das Quadrat an der Tangente der Neigung im magnetischen Meridian, gleich der Summe der Quadrate von den Tangenten der beiden beobachteten Neigungen.

Es sey H die horizontale und V die vertikale Kraft, welche auf die Nadel in dem magnetischen Meridian wirkt, und i sey die Neigung, so hat man:

$$\text{Tang } i = \frac{H}{V}.$$

Für eine andere Vertikal-Ebene die mit dem magnetischen Meridian den Winkel a macht, wird die horizontale Kraft nicht mehr H seyn, sondern man muß die Kraft H in zwei zerlegen, wovon die eine mit dem magnetischen Meridian den Winkel a, die andere aber den Winkel 90° — a macht. Dann übersieht man leicht, daß die Kraft in der ersten Richtung H. Cos a in der letzten H. Sin a seyn werde. Die virticale Kraft hingegen ist überall gleich, also V. Nennt man nun i' die Neigung in der durch den Winkel a bestimmten Richtung, so ist

$$\text{Tang } i' = \frac{H. \text{ Cos } a}{V}$$

in der durch den Winkel 90° — a bestimmten Richtung hat man, wenn i" die beobachtete Richtung ist

$$\text{Tang } i'' = \frac{H. \text{ Sin } a}{V}.$$

Erhebt man diese beiden Werthe ins Quadrat, und addirt sie, so erhält man (da Cos a² + Sin a² =.)

$$\text{Tang } i'^2 + \text{Tang } i''^2 = \frac{H}{V} = \text{Tang } i^2.$$

§. 9.

Wegen dieser Schwierigkeit der Verfertigung und des Gebrauchs giebt es wenig sichere Beobachtungen über die Inclination. In unsern Gegenden schätzt man sie gegenwärtig auf 71 Grad. Was sich sonst mit Sicherheit aus den vorhandenen Beobachtungen folgern läßt, ist folgendes.

§. 10.

Die Inclination ist an verschiedenen Orten

noch verschiedener, als die Declination. Weiter nördlich nimmt sie zu, und es befindet sich wahrscheinlich in Nordamerika, etwa 14 bis 17 Grad vom Nordpol eine Stelle, wo die Nadel lothrecht steht. Gegen Süden hin nimmt sie ab, und es giebt in der heißen Zone, einen um die ganze Erde herumlaufenden Gürtel, wo die Nadel horizontal steht. Dieser Gürtel liegt auf unserer Hälfte der Erdkugel über, auf der andern, unter dem Aequator. Man nennt diesen Kreis den magnetischen Aequator. Jenseits desselben neigt sich die südliche Seite der Nadel und dieses desto stärker, je weiter man fortrückt; und in der Gegend von Neu-Seeland giebt es wahrscheinlich eine Stelle, die 35 bis 40 Grad vom Südpol entfernt seyn mag, wo die Nadel wieder lothrecht steht.

§. 11.

Auch mit der Zeit ändert sich die Inclination, aber die Gesetze dieser Aenderung lassen sich nur aus Hypothesen, nicht aus vorhandenen Beobachtungen ableiten (m. s. den Art. Neigung der Magnetnadel, in den phys. Wörterbüchern).

Magnetismus der Erdkugel.

§. 12.

Die Erscheinungen beider Nadeln berechtigen, oder nöthigen uns vielmehr, die Erde selbst als einen großen, (doch nicht sehr starken) Magnet zu betrachten, da sie auf die Magnetnadel ganz nach

eben den Gesetzen wirkt, nach welchen ein Magnet auf den andern wirkt. Und Euler hat gezeigt, daß wenn man den beiden magnetischen Polen der Erde ungefähr die §. 10. angegebene Lage giebt, sich die Erscheinungen der Declination und Inclination ganz gut daraus erklären lassen (Recherches sur la declinaison de l'aiguille aimantée: in den Memoiren der Berl. Acad. von 1757. S. 175). Wer das, was über das Verhalten zweier Magnete gegen einander gesagt worden, gefaßt hat, wird übrigens leicht einsehen, daß der in Nordamerika liegende Pol, der magnetische Südpol, und der bei Neu-Seeland liegende, der magnetische Nordpol der Erde genannt werden müsse.

§. 13.

In der That ist es auch aus andern Gründen nicht unglaublich, daß in dem Innern der Erde große magnetische Eisensteinmassen vorhanden seyn können. Denn das Eisen ist in solcher Menge in der Natur vorhanden, daß jede Hand voll Erde etwas davon enthält. Ueberdieß machen die vermittelst des Pendels angestellten Beobachtungen (XIV. 13. n. 6.) es an sich wahrscheinlich, daß der innere Kern der Erde eher eine metallhaltige, als bloß erdartige Steinmasse sey. Nimmt man hierzu Cantons Beobachtungen über den Einfluß der Wärme auf die magnetische Kraft (§. 6.), so läßt es sich denken, daß die von Osten nach Westen gehende tägliche scheinbare Bewegung der

Sonne, wohl ein westliches Fortrücken der Pole der Erde bewirken könne, wodurch sich die Veränderungen der Declination und Inclination natürlicher erklären würden, als wenn man mit einigen Naturforschern einem Magnet in der Erde eine eigenthümliche Bewegung beilegen wollte.

Erregung des ursprünglichen Magnetismus.

§. 14.

Um die Beweise für den Magnetismus der Erdkugel vollständig zu machen, hat die Beobachtung gelehrt, daß Eisen, welches lange Zeit der freien Luft ausgesetzt ist, besonders in der Richtung des magnetischen Meridians, von selbst magnetisch wird. Diese Beobachtung hat den Versuch veranlaßt, eine Stange Eisen vollständig in die Richtung der magnetischen Kraft nach Declination und Inclination zu bringen, und man hat gefunden, daß eine solche Stange viel schneller durch sich selbst magnetisch wird, und daß man ihre Magnetisirung durch Streichen und Klopfen befördern könne (Gehler III. 111. Fischer III. 445).

§. 15.

Sehr unschicklich hat man in den neuern Zeiten gewisse sonderbare Erscheinungen in dem lebenden menschlichen Körper, die gar nicht hierher gehören, thierischen Magnetismus genannt.

Ueber den eigentlichen Magnetismus sind folgende Werke als classisch anzusehen: Musschen-

bröck Diss. de magnete, in diss. phys. etc. Lugd. Bat. 1729. Brugmans Beob. über die Verwandtschaft des Magnets, a. d. Lat. übers. von Eschenbach. Leipzig 1781. Ebendesselben philos. Versuche über die magn. Materie, a. d. Lat. übers. von Eschenbach. Leipzig 1784. Cavallo Abhdl. v. Magnetismus, a. d. Engl. Leipzig 1788. In Hauy's Physik, in Biot's Traité de Physique exp. et math., auch in Schmidt's Handb. der Physik findet man sehr gründliche Abhandlungen über den Magnetismus. Auch sind in Gilbert's Annalen eine Menge dahin gehöriger Aufsätze zerstreut, besonders in Band 32 u. 35.

Achter Abschnitt.

Vom Lichte.

Neununddreißigstes Capitel.

Von dem Lichte überhaupt, besonders von den Erscheinungen, die von der geradlinigen Bewegung desselben abhängen, oder erste Gründe der Optik.

Einleitung.

§. 1.

Das Gefühl, oder vielmehr das Getast, belehrt uns gründlicher über die Beschaffenheit der Körper; aber das Gesicht ist unendlich fruchtbarer. Wir würden sehr dürftig an Vorstellungen seyn, wenn unser Sinnenvermögen nicht weiter reichte, als unsere Hand greifen kann. Durch den Sinn des Gesichts erhebt die Natur unser Sinnenvermögen weit über die Gränzen des Wohnplatzes hinaus, an welchen wir gefesselt sind, bis in die unermeßlichen Räume der Schöpfung; und es ist ein hoher Triumph des menschlichen Geistes, daß es ihm gelungen ist, durch die Kunst die Kraft dieses Sinnes noch weit über die Gränzen hinaus zu erhöhen, welche ihr die Natur gesetzt zu haben

schien. Das Auge stellt uns auf einen Standpunkt, von wo aus wir die Schöpfung übersehen können. Hohe Aufforderung für jeden denkenden Menschen, die Gesetze seiner Erscheinung näher kennen zu lernen.

§. 2.

Die ganze Optik (so nennt man im weitern Sinn, die ganze Lehre vom Licht, im engern, nur den Inhalt dieses und des folgenden Capitels), ist einer der vollendetsten Theile der Naturlehre. Die Geschichte derselben ist für den philosophischen Naturforscher von großer Wichtigkeit: denn sie zeigt deutlicher als irgend ein anderer Theil der Naturlehre, den einzig richtigen Weg, der zur Vollendung einer Wissenschaft führt. Alle Speculationen über die Natur des Lichts, gemacht von den scharfsinnigsten Köpfen die je lebten, Descartes, Newton, Euler, haben die Wissenschaft nicht um einen Schritt vorwärts gebracht; aber die Versuche Newtons, Dollonds und anderer, zündeten ein Licht an, das alle Theile der Optik erhellt hat.

§. 3.

Zwischen unserm Auge, und dem Gegenstande, den wir sehen, muß irgend eine Materie seyn, welche die Einwirkung eines entfernten Gegenstandes auf unsern Sinn möglich macht. Was diese Materie sey, wissen wir nicht, werden es auch nie erfahren, da uns das Auge nicht diese Materie selbst, sondern nur vermittelst derselben die sichtba-

ren Dinge zeigt. In der That kann es uns aber auch ganz gleichgültig seyn, ob diese Materie nach der Meinung einiger Alten etwas aus dem Auge ausströmendes, oder nach der Meinung der Newtonianer etwas aus dem Dinge ausströmendes, oder nach Descartes und Eulers Meinung eine ausgebreitete unermeßlich feine ausdehnsame Flüssigkeit sey, deren zitternde Bewegung auf ähnliche Art die Erscheinungen des Sehens, wie die zitternde Bewegung der Luft die Empfindung des Hörens bewirkt; es kann uns gleichgültig seyn, ob irgend eine dieser Speculationen, oder ob keine die wahre sey, wofern wir nur die Gesetze kennen, unter welchen die Erscheinungen des Sehens stehen; und dieses ist dem menschlichen Geist beinahe so vollkommen, als in Ansehung der Gesetze der Schwere gelungen.

§. 4.

Wir nennen die unbekannte Ursache der Sichtbarkeit Licht, oder Lichtstoff. Wir können die Wirkungen dieses Stoffs sperren, aber die Ursache der Erscheinungen können wir nicht sperren. Der Lichtstoff muß überall zugegen seyn, wo sich nur der Stahl am Feuerstein reiben kann. Selbst unter Wasser giebt der Stahl Funken; der elektrische Funken ist im Wasser sichtbar; und der in Lebensluft entzündete Stahl, glüht unter dem Wasser fort. Der Lichtstoff muß also ein unsperrbarer, alles durchdringender, und von allen Körpern

durch-

durchdrungener Stoff seyn. Er muß von ganz anderer Natur seyn, als alle wahrnehmbaren Stoffe, da er eine ganz andere Statik und Mechanik als diese hat: denn wir werden sehen, daß wir in der Optik, welche die wahre Mechanik des Lichts ist, von allen in den vorigen Abschnitten entwickelten Gesetzen der Statik und Mechanik hier wenig oder nichts brauchen können. Nirgends werden sich auch nur die schwächsten Spuren, von einer Schwere, von einer Undurchdringlichkeit, von einer Wirkung durch Anstoß u. s. f. zeigen. Dürfen wir je einige nähere Aufschlüsse über die Natur dieses Stoffes hoffen, so müssen wir sie von der chemischen Naturlehre erwarten. Denn eben dieser Stoff spielt unverkennbar eine sehr wichtige chemische Rolle in der Natur. Fast überall paart er sich mit dem wirksamsten chemischen Agens, mit der Wärme: seine Wirkungen zeigen sich nicht nur bei den so mannigfaltigen und wichtigen Erscheinungen des Verbrennens, sondern auch bei den meisten elektrisch-chemischen Versuchen. Auch kennt der Chemiker mehrere Veränderungen der materiellen Beschaffenheit gewisser Stoffe, die ganz allein durch die Einwirkung des Lichts bewirkt werden. Und wer könnte den großen und wohlthätigen Einfluß verkennen, den das Licht auf alle organische Körper hat? Aber noch sind die Gesetze seiner chemischen Wirksamkeit eben so dunkel, als die Gesetze seiner Bewegungen klar sind.

Anm. Im §. ist gesagt worden, daß die Gesetze der Statik und Mechanik bei dem Licht keine Anwendung finden. In der ersten Ausgabe hieß es: die Gesetze der Bewegung. Dieses war unrichtig. Die allgemeinen rein mathematischen Sätze von der Bewegung, in welchen gar nicht von Materie und Kraft die Rede ist, finden allerdings ihre Anwendung bei allen erdenklichen Arten von Bewegungen, also auch bei dem Licht. Aber von Schwere, Anstoß, Mittheilung der Bewegung rc. zeigt sich bei dem Licht keine Spur.

Mechanik des geradlinigen Lichts.

§. 5.

Die Sonne, die Lichtflamme, und alle glühende Körper verbreiten die Wirkung des Lichts um sich her. Solche Körper nennt man selbstleuchtende. Andere Körper geben die Wirkung zurück, die sie von jenen empfangen haben, und heißen erleuchtete. Alle Luftarten, die meisten tropfbaren Flüssigkeiten, besonders Wasser, viele feste Körper, besonders Glas, lassen die Wirkungen des Lichts durch sich hindurch, diese heißen durchsichtige Körper, andere halten sie auf, diese heißen undurchsichtige Körper.

§. 6.

Das erste Gesetz unter welchen die Bewegungen des Lichts stehen, ist folgendes:

die Wirkung des Lichts bewegt sich geradlinig, so lange sie in einem durch-

sichtigen Mittel, von gleicher materieller Beschaffenheit bleibt.
Es bedarf keiner künstlichen Versuche, dieses Gesetz zu erweisen; eine Erfahrung die wir in jedem Augenblick der Sichtbarkeit wiederholen können, daß wir einen Körper nicht sehen, sobald sich in der geraden Linie zwischen ihm und dem Auge ein undurchsichtiger Körper befindet, ist der vollständigste Beweis desselben. Zum Ueberfluß kann man in einem verfinsterten Zimmer die geradlinige Fortpflanzung des Lichts durch die Erleuchtung der Stäubchen, die in der Luft schwimmen, sichtbar machen.

§. 7.

Dieses Gesetz giebt uns an der geraden Linie ein vortreffliches Bild für die Wirkungen des Lichts, und versetzt die ganze Optik unter die Herrschaft der Geometrie. Eine gerade Linie als der Weg betrachtet, den die Wirkung des Lichts nimmt, heißt ein Lichtstrahl.

Anm. Die erste Ausgabe dieses Lehrbuchs erschien 1805, lange vor der Erscheinung des Werks unsers Herrn von Göthe: Zur Farbenlehre. Hätte dieser treffliche Kopf die mathematische Theorie des Lichts sorgfältig studirt, so würde er den Physikern keinen so plumpen Begriff von einem Lichtstrahl zugeschrieben haben, als er in diesem Werke thut, das bei vielen schönen Bemerkungen unendlich viele Mißverständnisse enthält.

§. 8.

Von jedem Punkt eines selbstleuchtenden Kör-

pers breiten sich die Lichtstrahlen nach allen Seiten aus, wohin man nur in dem durchsichtigen Mittel gerade Linien ziehen kann; und jeder Lichtstrahl verfolgt seinen geraden Weg so lange, bis er zu einem Raum von veränderter materieller Beschaffenheit gelangt. Alsdann aber ist der Erfolg nach der Beschaffenheit des Körpers auf den er trifft verschieden.

§. 9.

Kommt der Lichtstrahl in ein durchsichtiges Mittel, das dichter oder dünner, oder von anderer materieller Beschaffenheit ist, und trifft er auf die Oberfläche desselben in schiefer Richtung, so leidet er eine Brechung (Refraction), d. h. er wird mehr oder weniger von seinem geraden Wege abgelenkt. Die Gesetze dieser Erscheinung entwickelt die Dioptrik.

Trifft der Strahl auf die polirte Oberfläche eines undurchsichtigen Körpers, so wird er in einer einzigen bestimmten Richtung zurückgeworfen. Die Gesetze dieser Zurückwerfung (Reflection) untersucht die Katoptrik.

Geht ein Strahl sehr nahe bei einem Körper vorbei, so leidet er eine geringe Beugung (Inflection) deren Gesetz noch nicht vollständig bekannt, aber auch nicht von wichtigem Einfluß auf die Erscheinungen des Sehens ist; daher es hinreichend seyn wird, diese Erscheinungen hier nur erwähnt zu haben.

Fällt endlich das Licht auf einen undurchsichtigen und nicht polirten Körper, so gehen mit dem Licht Veränderungen vor, die wir in diesem Capitel näher erörtern müssen.

§. 10.

Der Körper wird unter diesen Umständen erleuchtet, d. h. jeder Punkt desselben wird gleichsam ein leuchtender Punkt, indem er das Licht, welches er empfängt, nach allen Seiten umher, wohin man nur in dem umgebenden durchsichtigen Mittel eine gerade Linie ziehen kann, zurück wirft. Dieser erhellt daraus, weil jeder solche Punkt in allen diesen Richtungen sichtbar ist.

§. 11.

Begreiflich ist mit dieser Zerstreuung des Lichts allezeit eine sehr große Schwächung verbunden, indem jeder Strahl gleichsam in unzählig viele zerspalten wird. Daher ist der Eindruck dieses zerstreuten Lichts ohne allen Vergleich schwächer, als das blendende Licht der selbstleuchtenden Körper.

§. 12.

Es wird aber das Licht außer der Zerstreuung, die es leidet, auch noch durch eine zweite Ursache geschwächt. Es gehen nämlich mit dem Lichte selbst bei der Berührung eines Körpers zum Theil merkwürdige Veränderungen vor. Es giebt einige Körper, die alles Licht, was sie empfangen, oder doch das meiste zurückgeben: dies sind die vollkommen weißen Körper. Andere geben dage-

gen wenig oder gar nichts zurück. Dieß sind die vollkommen schwarzen. Bei allen übrigen leidet das Licht eine besondere Veränderung, welche man als eine chemische Veränderung des Lichtstoffs ansehen könnte. Das zerstreute Licht macht einen ganz andern Eindruck auf das Auge als das ursprüngliche, den wir eine Farbe nennen. Jede Farbe schwächt allezeit das Licht beträchtlich; die hellen und lebhaften weniger, die dunkeln mehr. Die Gesetze der Farbenerscheinungen werden wir zwar erst in einem eigenen Capitel der Dioptrik genauer untersuchen: doch können wir schon hier bemerken, daß die Farbe offenbar nichts den Körpern eigenes ist, sondern daß das zurückgeworfene Licht selbst, blau, grün, roth u. s. f. ist; indem es offenbar nichts als das Licht selbst seyn kann, was die Empfindung der Farbe im Auge hervorbringt.

Anm. Es bedarf wohl kaum einer Erinnerung, daß alles in diesem §. erwähnte nicht Hypothesen sondern Thatsachen sind, und daß sie hier nur als unstreitige Erscheinungen aufgeführt werden. Das Sonnenlicht ist weiß. Weiße Körper geben daher dasselbe, wenn auch nicht vollständig, doch in seiner Beschaffenheit unverändert zurück. Vollkommen schwarze Körper geben gar kein Sonnenlicht zurück, und die Empfindung welche sie im Auge hervorbringen, gleicht daher völlig der, welche die Abwesenheit des Lichts bewirkt. Es ist nicht nur völlig unnöthig, sondern führt zu lauter Verwirrungen, wenn man die Schwärze für etwas positives halten wollte. Es kann übrigens nicht zweideutig seyn, in welchem Sinne dem Lichte selbst hier eine Farbe beigelegt wird.

Licht heißt grünes Licht, in so fern es in jedem Punkt seines Weges in einem Auge die Empfindung der grünen Farbe erregt. In einem gewissen sehr richtigen Sinne kann man freilich sagen, die grüne Farbe sey nur etwas im Auge vorhandenes. Aber die Empfindung die wir Grün nennen, ist doch in allen Fällen, wo wir vermöge des von aussen eindringenden Lichts sehen, von der besondern Beschaffenheit des Lichtes abhängig. Von dem besondern Wesen dieser Beschaffenheit haben wir aber keinen Begriff, und es ist daher sehr natürlich, daß wir sie mit einem von der Wirkung entlehnten Worte bezeichnen.

§. 13.

Eine bekannte Erfahrung setzt es außer Zweifel, daß das Licht eines farbigen Körpers selbst gefärbt ist. Wenn das Licht erleuchteter Gegenstände, durch eine kleine Oeffnung von beliebiger Gestalt in ein verfinstertes Zimmer fällt, so mahlen sich auf einer gegenüberstehenden weißen Wand alle Gegenstände verkehrt und, wenn auch nicht scharf, doch alle mit ihren natürlichen Farben ab. Diese Erscheinung erklärt sich leicht aus der geradlinigen Bewegung, und aus den Farben des Lichts. Man stelle sich einen Gegenstand, etwa eine hohe aufrechte Stange, deren Theile mit verschiedenen Farben bemahlt sind, in einiger Entfernung von einem verfinsterten Zimmer aufgestellt vor. In einem Fensterladen dieses Zimmers sey eine einzige kleine etwa dreieckige Oeffnung, durch welche das von der Stange kommende Licht in das Zimmer fallen kann. Dem Fenster gegenüber sey in

dem Zimmer, eine ganz weiße recht ebene Wand. Man betrachte zuerst das Licht, was von der äussersten Spitze der Stange, die roth seyn mag, durch die Oeffnung geht. Dies Licht wird die Gestalt einer sehr dünnen dreiseitigen Pyramide haben, deren Spitze der leuchtende Punkt ist, und deren Seiten und Winkel durch die Gestalt des Lochs bestimmt sind. Das Licht dieser Pyramide wird die weiße Gegenwand unterwärts treffen, und da einen kleinen der Gestalt des Lochs ähnlichen dreieckigen Raum erleuchten. Dieser erleuchtete Raum ist die undeutliche Abbildung, die man auf der weißen Wand, von der Spitze der Stange wahrnimmt, und da diese Abbildung roth erscheint, so muß das von der Spitze kommende Licht, selbst roth seyn. Ist der unterste Punkt der Stange blau, so wird auf der Wand oberwärts vollkommen auf eben die Art, eine dreieckige also undeutliche blaue Abbildung entstehen. Eben dies gilt von allen übrigen Punkten der Stange, und so sieht man leicht, daß auf der Wand eine verkehrte, aber undeutliche Abbildung der ganzen Stange entstehen müsse, die eigentlich nicht aus Lichtpunkten, sondern aus kleinen Licht-Dreiecken zusammengesetzt ist. Wäre das Loch viereckig, so würde das Bild aus kleinen Licht-Vierecken, wäre es rund aus kleinen Licht-Kreisen zusammengesetzt seyn. Die Abbildung wird desto undeutlicher seyn, je größer das Loch, je näher der

Gegenstand, und je entfernter die auffangende Wand ist.

Wenn die Sonne durch dichtes Laub scheint, und man fängt die Schattenbilder mit einer gegen die Sonnenstrahlen senkrechten Ebene auf, so sind die lichten Stellen alle zirkelrund, aber nicht scharf begränzt. Dies sind lauter undeutliche Sonnenbilder, die auf die nämliche Art entstehen.

§. 14.

Die einfache Betrachtung, daß alles farbige Licht viel schwächer ist als das weiße, macht es wahrscheinlich, daß das weiße Licht der Sonne, eine Mischung von farbigem Licht verschiedener Art sey, und daß die Oberfläche jedes Körpers nur gewisse Bestandtheile desselben, d. h. gewisse Farben zurückwerfe, andere hingegen entweder gleichsam verschlucke, oder doch unwirksam mache. Eine Vorstellung, welche durch die dioptrische Farbenlehre völlige Bestätigung erhalten wird.

Daß gewisse Körper, selbst weißes Licht einsaugen, und es im Dunkeln wieder von sich geben, ist eine bekannte Thatsache (Lichtsauger).

Die Bewegungen des farbigen Lichts stehen übrigens mit den Bewegungen des weißen Lichts unter einerlei Gesetzen.

§. 15.

Keppler glaubte noch die Geschwindigkeit des Lichts sey augenblicklich, d. h. im eigentlichen Sinn unermeßlich. Indessen haben sie die Astro-

nomen in der Folge wirklich gemessen, indem sie wahrnahmen, daß die Verfinsterungen der Jupiterstrabanten in demselben Verhältniß später sichtbar wurden, in welchem Jupiter weiter von uns entfernt war. Sie haben daraus berechnet, daß das Licht den Durchmesser der Erdbahn, d. i. einen Weg von 47416 Halbmessern der Erdkugel in 15 Minuten, oder 900″ zurücklege, und daß die Bewegung des Lichts, soviel wir urtheilen können, vollkommen gleichförmig sey. Es legt also das Licht in einer Secunde zurück, einen Weg von 52,68444... Halbmessern der Erdkugel: oder (wenn der Halbmesser der Erde 3 275 790 Par. Toisen gesetzt wird), von 172 583 176,2 Toisen; oder von 1 035 499 057,6 Par. Fuß; oder (wenn der Brand. ddc. Fuß=139,13 Par. Linien), von 1 071 744 873,1 Brand. ddc. Fuß; oder endlich (wenn die geographische Meile 23661 Brd. ddc. Fuß gesetzt wird), von 45 295,840 geogr. Meilen. Die größte Geschwindigkeit, die wir in der Natur kennen.

§. 16.

Ob die Lebhaftigkeit eines einzelnen Lichtstrahls oder eines Lichtstroms, der aus lauter parallelen Strahlen besteht, bei seinem Fortrücken im leeren Raum, oder in einem absolut durchsichtigen Mittel abnehme, oder sich gleich bleibe, ist schwer zu entscheiden. Doch macht die große Lebhaftigkeit des Lichts der Fixsterne,

in Betracht ihrer unermeßlichen Entfernung *) das letzte wahrscheinlicher, und sie beweist wenigstens unstreitig, daß in kleineren Weiten, die das Licht zurücklegt, keine irgend bemerkbare innere Schwächung seiner Lebhaftigkeit statt finde.

§. 17.

Breitet sich aber Licht von einem Körper aus, so nimmt seine Stärke deswegen ab, weil es sie in einen größern Raum verbreitet, je weiter es fortgeht. Mit Hülfe einiger bekannten geometrischen Sätze läßt sich zeigen:

daß die Stärke des Lichts in verkehrtem Verhältniß mit den Quadraten der Entfernung abnehme, wenn sich dasselbe von einem Punkt nach allen Seiten ausbreitet,

vorausgesetzt, daß die Stärke des Lichts durch keine andere Ursache, als durch die Ausbreitung desselben geschwächt werde. Dies ist der Hauptlehrsatz für die Lehre von der Ausmessung der Stärke des Lichts.

Anm. Es sey A Fig. 55 ein strahlender Punkt, und in

*) Nach dem Urtheil der Astronomen braucht das Licht, troz seiner ungeheuern Geschwindigkeit, wenigstens sechs Jahre, um von dem nächsten Fixstern zu uns zu gelangen. Und diese ungeheure Entfernung, ist eigentlich nicht die wirklich gemessene Entfernung eines Fixsterns, sondern zeigt bloß eine Gränze an, innerhalb deren sicher kein Fixstern stehen kann.

der Entfernung AB stelle man sich eine geometrische Figur BCD von beliebiger Gestalt senkrecht auf AB vor: so übersieht man leicht, daß das von A auf BCD fallende Licht, die Gestalt einer Pyramide habe, deren Spitze A, und deren Grundfläche BCD ist. Man verlängere diese Pyramide beliebig, und durchschneide sie in der beliebigen Entfernung AE durch eine mit BCD parallele Ebene EFG. Geht nun das aus A kommende Licht durch diese beiden Ebenen BCD und EFG, so ist klar, daß in der einen gerade soviel Licht seyn wird als in der andern. Aber BCD ist kleiner als EFG; folglich wird das Licht in BCD in demselben Verhältniß dichter seyn, in welchem EFG größer ist als BCD. Heißt also die Stärke des Lichts in BCD, L, in EFG, l: so ist $L : l = EFG : BCD$. Aber EFG und BCD sind ähnliche Figuren, als parallele Durchschnitte einer Pyramide, und verhalten sich daher wie die Quadrate zweier gleichliegenden Seiten; wir haben also auch $L : l = EF^2 : BC^2$: aber auch AEF und ABC sind ähnliche Dreiecke, weil die Linien BC und EF parallel sind, wir haben daher $EF : BC = AE : AB$, also endlich $L : l = AE^2 : AB^2 = \frac{1}{AB^2} : \frac{1}{AE^2}$.

Wenn sich bei A mehrere strahlende Punkte befänden, so würde das Licht eines jeden nach diesem Gesetz abnehmen. Ist also in A nicht bloß ein leuchtender Punkt, sondern ein leuchtender Körper von beliebiger Gestalt und Größe, so ist klar, daß das erwiesene Gesetz, auch auf jeden Punkt desselben anwendbar sey. Ist aber die Entfernung, für welche die Lichtstärke bestimmt werden soll in Vergleichung mit dem Körper sehr groß, so kann man den Lehrsatz unbedenklich nicht bloß auf einzelne Punkte des Körpers, sondern auf den ganzen anwenden, weil die Entfernung aller seiner Punkte als gleich betrachtet werden kann. So kann man z. B. diesen Satz

unmittelbar auf die Sonne ungeachtet ihrer ungeheuren Größe anwenden, wenn ihre erleuchtende Kraft auf zwei Planeten verglichen werden soll.

§. 18.

Es hängt aber die Stärke des Lichts ausser der Entfernung auch noch von mehreren andern Umständen ab, und namentlich von folgenden:

1) Von der innern Lichtstärke des leuchtenden Körpers.

2) Von der Größe und Lage desselben.

3) Von der Lage der Ebene, welche das Licht empfängt.

4) Von der Beschaffenheit des Mittels durch welches das Licht geht.

Man muß aber von der Stärke des Lichts die Stärke der Erleuchtung wohl unterscheiden. Denn diese hängt, wie aus §. 9. erhellet, auch von der Empfänglichkeit der erleuchteten Oberfläche für das Licht ab.

§. 19.

Die Lichtstärke, sofern sie durch das Auge empfunden wird, heißt die Helligkeit. Bei der Anordnung optischer Instrumente, macht diese einen besondern Gegenstand der Untersuchung aus, indem sie nicht bloß von der Stärke des Lichts ausser dem Auge, sondern besonders davon abhängt, in welchen Raum das Licht im Auge selbst durch die Brechung der Gläser ausgedehnt wird.

§. 20.

Gänzliche Abwesenheit des Lichts heißt Dunkelheit oder Finsterniß. Dagegen heißen solche Stellen in einem erleuchteten Raum, wohin das Licht des leuchtenden Körpers nicht unmittelbar kommen kann, weil er von undurchsichtigen Körpern aufgehalten wird, Schatten. Hinter jedem undurchsichtigen Körper befindet sich allezeit ein Raum, in welchen das Licht des leuchtenden Körpers nicht unmittelbar gelangen kann, so daß ein daselbst befindliches Auge vom leuchtenden Körper gar nichts sehen würde; diesen Raum nennt man eigentlich den Kernschatten, oder vollkommnen Schatten. Erscheint aber der leuchtende Körper nicht wie die Fixsterne als ein bloßer Punkt, sondern hat er wie die Sonne, der Mond und jede Lichtflamme eine merkliche scheinbare Größe, so giebt es hinter einem undurchsichtigen Körper, der das Licht empfängt auch einen Raum, der nicht das volle Licht, sondern nur einen Theil desselben empfängt, oder einen Raum, wo ein daselbst befindliches Auge, nur einen größern oder geringern Theil des leuchtenden Körpers sehen würde; diesen Raum nennt man den Halbschatten. Man übersieht leicht, daß von dem Kernschatten aus allezeit ein stätiger Uebergang in das volle Licht statt finde, so daß das Auge auf einer Fläche, die den Schatten auffängt, zwischen beiden keine scharfe Gränze wahrnehmen kann.

Da übrigens der Schatten bloß von der Gestalt des leuchtenden und des erleuchteten Körpers, und von der geradlinigen Bewegung des Lichts abhängt, so ist diese ganze Lehre einer streng mathematischen Behandlung fähig, d. h. man kann in jedem bestimmten Falle die Gestalt des Kernschattens und des Halbschattens, und die Lichtstärke in jedem Punkt des Halbschattens geometrisch bestimmen. Im gemeinen Leben pflegt man oft bei dem Wort Schatten sich bloß den Durchschnitt des Schattenraums zu denken, der auf einem zweiten undurchsichtigen Körper hinter dem ersten sichtbar wird.

§. 21.

Mehrere Naturforscher haben sich Mühe gegeben, eine vollständige mathematische Theorie von der Ausmessung der Stärke des Lichts zu entwerfen, die man gewöhnlich Photometrie (Lichtmeßkunst) zu nennen pflegt, obgleich Karsten in seinen Lehrbüchern dieses Wort in einem weitläuftigern Sinne von der Optik überhaupt braucht. Bouguer unter den Franzosen, und Lambert unter den Deutschen haben sich vorzüglich mit diesem Gegenstande beschäftigt, und von dem letztern besitzen wir ein lateinisches Werk, das mit dem ihm eigenen Scharfsinn ausgearbeitet ist: Photometria sive de mensura et gradibus colorum et umbrae. Augustae Vindel. 1760. Die Theorie hat ihre Schwierigkeit, weil die

Lichtstärke so sehr von der materiellen Beschaffenheit der leuchtenden und erleuchteten Körper abhängt, die keiner mathematischen Ausmessung empfänglich sind. Die Anwendung der Theorie aber wird dadurch sehr beschränkt, daß unser Auge für feine Verschiedenheiten in der Lichtstärke sehr wenig Empfindlichkeit hat. Indessen haben Bouguer, Lambert und mehrere andere doch mancherlei Instrumente angegeben, die man Photometer (Lichtmesser) nennt, und deren Bestimmung es ist, die Stärke des Lichts unter gegebenen Umständen zu messen. Ein sehr brauchbares Instrument dieser Art hat neuerlich der verdienstvolle Graf Rumford angegeben. M. s. Gren's neues Journal der Physik, II. S. 15 u. f.

§. 22.

Zum Beschluß dieses Capitels müssen wir noch den Zusammenhang zwischen Licht und Wärme erwähnen. Im Sonnenlicht und im irdischen Feuer zeigen sich beide verbunden. In andern Fällen zeigt sich Licht ohne Wärme, und noch öfter Wärme ohne Licht. Je weiter man in der Kenntniß beider Wirkungen fortschreitet, um desto geneigter wird man, sie von zwei ganz verschiedenen Stoffen herzuleiten.

Vierzigstes Capitel.

Vom Sehen.

§. 1.

Obgleich eine vollständige Theorie des Sehens nicht nur die Dioptrik, sondern selbst anatomische Kenntnisse, also die organische Naturlehre voraussetzt, so ist es doch möglich, schon hier das, was bei dem Sehen im Auge vorgeht, verständlich, wenn auch nur historisch zu beschreiben.

Was das Auge selbst betrifft, so besteht es aus einer runden Kugel, welche die Natur von aussen durch mehrere Veranstaltungen sorgfältig verwahrt, und in eine weiche Lagerstätte von Fett gelegt hat, worin es durch einige kleine Muskeln leicht nach allen Richtungen bewegt werden kann. Die äusserste Bekleidung des Auges selbst ist eine weiße undurchsichtige und hornartige Haut ABCD Fig. 56: sie heißt die weiße Hornhaut (tunica cornea): nur vorne zwischen A und D erhebt sie sich gekrümmter, und ist völlig durchsichtig; daher heißt sie hier die durchsichtige Hornhaut. Unter der weißen Hornhaut liegt eine zweite dunkelfarbige Haut, die Adernhaut genannt (tunica choroidea); und unter dieser eine dritte gleichsam schleimartige, die Netzhaut (retina), welche die meisten Zergliederer für nervenartig, und für den eigentlichen Sitz der Empfindung des Lichts halten.

Sie scheint aus dem Mark des Sehnerven zu entspringen, der bei BC in den Augapfel tritt. Unter der durchsichtigen Hornhaut AD tritt eine Fortsetzung der Adernhaut hervor, welche einen Ring bildet, dessen innere runde Oeffnung die Augenöffnung oder Pupille heißt. Diese Haut, welche ein sehr künstliches Gewebe von Fasern ist, heißt ihrer bunten Farben wegen die Regenbogenhaut oder Iris. Sie besitzt die wunderbare Eigenschaft, sich bei verstärktem Lichte ohne unser Zuthun und Bewußtseyn gegen den Mittelpunkt hin auszubreiten, so daß die Pupille kleiner wird; bei geschwächtem Lichte geschieht das Gegentheil. Das Auge verliert dadurch zwar an Empfindlichkeit für die Stärke des Lichts, gewinnt aber dadurch einen andern wichtigen und leicht einzusehenden Vortheil.

Hinter der Iris, liegt ein halbharter, durchsichtiger, linsenförmiger Körper EF, welcher das Innere des Auges in zwei ungleiche Räume theilt, die man die Vorder- und Hinterkammer nennt. Dieser Körper heißt die Krystall-Linse (lens crystallinus). Die vordere Kammer enthält die wässrige Flüssigkeit (humor aqueus), deren Beschaffenheit ihr Name andeutet. Die Hinterkammer ist mit einer durchsichtigen Materie von gallertartiger Dichtigkeit angefüllt, welche man die gläserne Feuchtigkeit (humor vitreus) nennt.

Eine Linie GB, welche mitten durch die Pupille, und senkrecht durch die beiden Flächen der Linse geht heißt die Achse des Auges. Sie ist bei einem nicht schielenden Auge auf den Gegenstand gerichtet, den man betrachten will, indem sich in der Gegend von B die lebhafteste Gesichtsempfindung äussert.

Anm. An der äußern Fläche des Augapfels sind einige bandförmige Muskeln mit dem einen Ende befestigt, deren anderes Ende an der innern Fläche der Augenhöle befestigt ist. Besonders sind hier die vier Muskeln zu merken, welche die Zergliederer die geraden nennen. Zwei befinden sich oben und unten, einander gegenüber, und sind in der Figur durch ein Paar Striche hinter E und F angedeutet. Die beiden andern sind auf ähnliche Art an der rechten und linken Seite des Auges angebracht. Sie dienen nicht bloß das Auge nach allen Seiten zu bewegen, sondern auch, wie wir sogleich sehen werden, zu einem andern sehr wichtigen Zwecke.

§. 2.

Das Sehen entsteht dadurch, daß sich auf dem Hintergrunde des Auges ein kleines, verkehrtes aber sehr scharfes Bild der Gegenstände, auf welche das Auge gerichtet ist, gleichsam abmahlt. Dies geschieht auf folgende Art. Es sey HI ein Gegenstand, auf welchen das Auge gerichtet ist. Jeder Punkt dieses Gegenstandes, er sey selbstleuchtend oder erleuchtet, z. B. der Punkt G wirft Strahlen nach allen Seiten von sich. Von diesen Strahlen dringt ein kleiner kegelförmig gestalteter

Theil, der in der Figur durch drei Linien angedeutet ist, durch die Pupille in das Innere des Auges. Ein Strahl aus diesem Strahlenkegel, der mittelste, geht in unveränderter Richtung, gerade hindurch, und bestimmt auf der Netzhaut den Punkt G, auf welchen sich G abmahlen soll: die übrigen ihn umgebenden Strahlen werden sämmtlich gebrochen, aber so, daß sie alle in eben den Punkt g zusammentreffen; wäre nun der Punkt G gefärbt z. B. blau, so empfängt g nichts als blaues Licht, und wird also selbst blau gefärbt, also eine Abbildung von G seyn. Völlig das nämliche geschieht mit den Strahlen, die von irgend einem andern Punkt des Gegenstandes kommen, z. B. von H oder I; und man darf nur von jedem solchen Punkte eine gerade Linie ungefähr durch die Mitte der Krystall-Linse ziehen, um die Stelle zu finden, wo sich jeder Punkt auf der Netzhaut abbildet. So bildet sich H in h, und I in i ab; und man sieht leicht, daß auf diese Art ein kleines verkehrtes Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut entstehen müsse.

§. 3.

Alles was in der Erklärung des Sehens, von der Optik gefordert werden kann, läßt sich sehr vollständig aus dem Gesetz der Berechnung ableiten. Aber der Anatomie und Physiologie bleibt noch manche wichtige Frage zu beantworten übrig. Dahin gehört folgendes.

Die Erfahrung lehrt, daß wir zu nahe, und

zu entfernte Gegenstände nicht scharf sehen, und daß es für jedes Auge eine gewisse Entfernung giebt, die man die Entfernung des deutlichen Sehens nennt, in welcher man die Gegenstände am schärfsten sieht. Dies ist im allgemeinen den Gesetzen der Dioptrik ganz gemäß: denn es läßt sich aus den Gesetzen der Brechung beweisen, daß die Strahlen eines zu nahen Punkts sich nicht scharf auf der Netzhaut vereinigen, sondern erst ein wenig hinter derselben ihren Vereinigungspunkt haben würden. Strahlen zu entfernter Gegenstände hingegen vereinigen sich schon ein wenig vor der Netzhaut. In beiden Fällen kann kein scharfes Bild entstehen. Allein die Erfahrung lehrt, daß die Natur in dem Auge ein geheimes Kunststück angebracht hat, wodurch diesem Fehler in einem gewissen Grade abgeholfen wird. Ueber die Mittel, wodurch dieses bewirkt wird, waren bisher die Physiologen und Zergliederer verschiedener Meinung. Neuerlich aber hat ein englischer Arzt Home in Verbindung mit Ramsden, einem eben so sinnreichen Beobachter als Künstler, gezeigt, daß es vermittelst der vier oben (§. 1.) erwähnten geraden Muskeln geschehe. Werden diese scharf angespannt, so drücken sie den Augapfel ein wenig zusammen, wodurch die Krümmung der durchsichtigen Hornhaut stärker wird. Diese stärkere Krümmung aber vermehrt die Brechung der Lichtstrahlen. Sieht man nun nach

einem sehr nahen Punkt, so fallen die Spitzen der im Auge befindlichen Lichtkegel hinter die Netzhaut, indem man aber das Auge anstrengt deutlich zu sehen, so wird die Hornhaut, wie gesagt, stärker gekrümmt, die inneren Lichtkegel werden kürzer und ihre Spitze fällt nun wieder auf die Netzhaut. Sieht man einen sehr entfernten Punkt, so würden die Spitzen der Lichtkegel vor die Netzhaut fallen, wenn nicht durch die nachlassende Spannung der Muskeln die Hornhaut flacher und die Lichtkegel länger würden.

Die Entfernung des deutlichen Sehens ist bei verschiedenen Menschen sehr verschieden. Im Durchschnitt setzt man sie auf 8 Zoll. Wer sie merklich kürzer hat, ist kurzsichtig (myops), wer sie viel länger hat, ist weitsichtig (presbys). Kurzsichtigkeit und Weitsichtigkeit sind mehr Fehler der Gewöhnung, als des Auges selbst. Denn es gehört zu der Eigenthümlichkeit unserer Organisation, daß die Muskeln durch Mangel an Uebung steifer, durch Uebung hingegen beweglicher werden, und sich immer vollkommner der Herrschaft des Willens unterwerfen. Daher kann ein gesundes Auge, besonders in der Jugend eben sowohl zur Kurzsichtigkeit als zur Weitsichtigkeit verwöhnt werden. Ein zweckmäßig geübtes Auge, wird in der Ferne und Nähe ziemlich deutlich sehen.

§. 4.

Das unerklärlichste beim Sehen ist dieses,

wie es zugehe, daß das Bild, welches die Empfindung hervorbringt, im Auge, das Bild aber, welches wir sehen, außer dem Auge ist. Der Grund hievon liegt unstreitig in dem Innersten unsers Vorstellungsvermögens, also ganz außer der körperlichen Naturlehre, in dem Gebiete der Psychologie. So unerklärlich übrigens diese Erscheinung ist, so steht sie doch als Thatsache so fest, daß sie als ein Grundsatz zu der Erklärung anderer Erscheinungen gebraucht werden kann.

§. 5.

Bei allen unsern Sinnen vermischt sich durch die tägliche Uebung das Urtheil und die Empfindung so miteinander, daß wir sehr oft etwas für Empfindung halten, was doch nur Urtheil ist. Bei keinem unserer Sinne tritt dieser Fall häufiger ein, als bei dem Gesicht. Es ist daher nöthig, dasjenige scharf zu bestimmen, was eigentlich wahre Empfindung ohne alle Einmischung eines Urtheils beim Sehen ist. Zu dem Ende ist es nöthig den allereinfachsten Fall zu erwägen, und dieß ist unstreitig der, wenn ein einziger strahlender Punkt (z. B. G Fig. 56.) sein Licht ins Auge sendet.

Alles was das Auge in diesem Fall unmittelbar empfindet, ist 1) die Farbe des Lichts, 2) die Richtung in welcher der mittelste Strahl des Strahlenkegels die Netzhaut trifft. Diese beiden Stücke sind die einfachsten Elemente aller Gesichtsempfindungen.

§. 6.

Aus den unleugbaren Thatsachen, die in den beiden vorigen §. genau bestimmt worden sind, beantwortet sich eine Frage, über die man viel gestritten hat, sehr genugthuend: wie es zugehe, daß wir die Gegenstände aufrecht sehen, da doch die Bilder derselben im Auge verkehrt sind? Wäre das Bild des Punktes H, welches wir sehen, an derselben Stelle wo die Empfindung im Auge entsteht, nämlich in h, so müßten wir den ganzen Gegenstand als etwas im Auge befindliches wahrnehmen, und dann würden wir ihn unstreitig so sehen, wie das Bild im Auge liegt, also verkehrt. Da wir aber nichts als Farbe und Richtung des aus H kommenden Lichts empfinden (§. 14.), das sichtbare Bild von H aber durch ein unbegreifliches Spiel der Einbildungskraft aus uns hinausrückt (§. 13.), so können wir den Punkt H nirgend, als in dem, ausser dem Auge befindlichen Theil der Linie Hh sehen: d. h. ein Punkt, dessen Abbildung im Auge unter der Achse ist, wird über derselben gesehen, und umgekehrt.

§. 7.

Daß wir mit zwei Augen die Gegenstände nur einfach sehen, ist eine Folge davon, daß wir immer mit beiden Augen dieselben Gegenstände sehen; wodurch beide Bilder in der Empfindung in eins gleichsam zusammenschmelzen.

§. 8.

Die sichtbare oder scheinbare Größe eines Gegenstandes HI Fig. 54., ist eigentlich die Größe seines Bildes hi auf der Netzhaut. Rückt der Gegenstand näher, so wird das Bild größer, rückt er weiter ab, so wird es kleiner. Die scheinbare Größe ist also etwas ganz anderes, als die wahre (tastbare) Größe: denn diese ist unveränderlich. Man sieht aber leicht, daß die scheinbare Größe mit dem Winkel HLI zu- und abnimmt. Man betrachtet daher den Winkel HLI, unter welchem man einen Gegenstand sieht, als das Maaß seiner scheinbaren Größe, und nennt ihn den Sehwinkel oder auch den scheinbaren Durchmesser des Gegenstandes.

§. 9.

Die Empfindlichkeit der Netzhaut hat ihre Gränzen: wird der Sehwinkel gar zu klein, so sind wir nicht mehr im Stande den Gegenstand zu unterscheiden. Gemeiniglich nimmt man an: ein Gegenstand höre auf sichtbar zu seyn, wenn sein Sehwinkel kleiner sey als eine Minute. Dies ist indessen nur als eine ungefähre Durchschnittsbestimmung anzusehen. Denn die Sichtbarkeit eines Punktes oder Gegenstandes hängt nicht bloß von der Größe seines Sehwinkels, sondern noch mehr von dem Abstich seines Lichtes gegen das Licht des Hintergrundes ab, auf welchem es gesehen wird. Ein sehr heller Gegenstand auf einem dunkeln Hin-

tergrund, kann unter einem Sehwinkel, der weit kleiner als eine Secunde ist, sichtbar bleiben, wie die sämmtlichen Fixsterne beweisen, unter welchen vielleicht nicht einer einen scheinbaren Durchmesser von einer Secunde hat. Umgekehrt kann aber auch ein Gegenstand, der unter einem viel größeren Winkel erscheint, unsichtbar werden, wenn sein Licht gegen den Hintergrund wenig absticht.

§. 10.

Von der Entfernung der Gegenstände empfindet das Auge unmittelbar gar nichts. Denn der Eindruck auf die Netzhaut hängt offenbar lediglich von der Richtung und Stärke der Lichtstrahlen im Augenblick der Berührung ab. Ob ein Strahl außer dem Auge, einen langen oder kurzen Weg gemacht habe, dies kann offenbar auf die Empfindung, die er hervorbringt, nicht den mindesten Einfluß haben. Was uns daher das Auge über die Entfernung der Dinge zu sagen scheint, ist nicht Empfindung, sondern ein bewußtloses Urtheil, das aber durch die beständige Uebung so mit der Empfindung verschmolzen ist, daß wir es kaum von ihr unterscheiden können.

§. 11.

Die Natur hat uns aber die Beurtheilung der Entfernung sehr erleichtert. Denn wenn auch die Entfernung selbst nicht empfunden wird, so ist doch mehr als ein Umstand in der Empfindung des

Auges anders, wenn wir einen nahen, als wenn wir einen entfernten Gegenstand betrachten. Dahin gehört folgendes:

1) Bei einem fehlerfreien Auge, ist jede Augenachse auf den Punkt gerichtet, den man betrachtet. Liegt dieser Punkt nahe, so müssen beide Achsen einen viel größern Winkel machen, als wenn er entfernt ist. Die Anstrengung der Muskeln aber, die zur Bewegung des Augapfels erforderlich ist, ist etwas, was empfunden wird.

2) Der Grad der Deutlichkeit und Schärfe, mit welcher wir jeden Punkt sehen, ist bei nahen Gegenständen anders als bei entfernten (§. 3).

3) Das Licht entfernter Gegenstände ist weit schwächer als das Licht naher Gegenstände, und dies theils wegen der Abnahme der Lichtstärke mit der Entfernung (XXXIX. 16.), theils wegen der unvollkommnen Durchsichtigkeit der Luft in den untern Regionen des Luftkreises.

4) Die scheinbare Größe der Gegenstände, die sich mit der Entfernung ändert, bestimmt unser Urtheil über die Entfernung, vorausgesetzt, daß uns die wahre Größe des Gegenstandes durch das Getast bekannt sey.

5) Endlich ist die Lage eines gesehenen Gegenstandes, gegen andere Gegenstände deren Lage und Entfernung uns bekannt ist, ein Bestimmungsgrund unsers Urtheils.

§. 12.

Bei nahen Gegenständen, wo die richtige Beurtheilung der Entfernung für uns am wichtigsten ist, vereinigen sich alle diese Umstände, unser Urtheil zu schärfen. Je größer die Entfernung wird, desto unsichrer wird unser Urtheil; und jenseits des Luftkreises verlassen uns alle Mittel, so daß uns nicht nur die Gestirne, sondern selbst hohe Meteore, alle an einer einzigen Fläche des Himmelsgewölbes, welches uns die blaue Farbe der Luft täuschend vormahlt, zu seyn scheinen. Daß uns dieses Himmelsgewölbe nicht als eine halbe Kugel, sondern als ein flaches elliptisches Gewölbe erscheint, daß uns Sonne, Mond und Sterne am Horizont größer, und weiter von einander abstehend erscheinen, als hoch am Himmel, erklärt sich sehr befriedigend aus §. 11., indem sich mehrere Umstände vereinigen, die uns bestimmen, das, was nahe am Horizont gesehen wird, für entfernter zu halten, als das, was wir am Himmelsgewölbe hoch über uns sehen.

§. 13.

Die beiden zuletzt genannten Hülfsmittel zur Beurtheilung der Entfernung (§. 11. n. 4 u. 5.), dienen auch, unser Urtheil über die wahre Größe eines Gegenstandes zu bestimmen. Urtheilen wir nämlich aus andern Gründen richtig über die Entfernung, so giebt diese, mit der scheinbaren Größe verglichen, einen Bestimmungsgrund für die wahre Größe.

Sehen wir ferner einen unbekannten Gegenstand unter bekannten Umgebungen, so geben uns diese einen Maaßstab für seine wahre Größe.

§. 14.

Auch die sichtbare Gestalt eines Dinges ist nicht seine wahre (tastbare) Gestalt. Das Bild auf der Netzhaut ist kein Körper, sondern nur eine Fläche, und so erscheint auch jeder Gegenstand dem Auge als eine bloße Fläche. Indessen urtheilen wir doch mit vieler Sicherheit über die wahre Gestalt eines sichtbaren Gegenstandes, besonders in der Nähe, wo alles was unser Urtheil über Entfernung und Größe bestimmt, auch zur Berichtigung unsers Urtheils über die Gestalt dient. Das wichtigste Hülfsmittel zur Beurtheilung der Gestalt aber liegt in dem Wechsel von Licht und Schatten, besonders wenn es uns verstattet ist, den Gegenstand von mehr als einer Seite zu betrachten.

§. 15.

Auf den Bemerkungen des vorigen §. beruht die Möglichkeit der Mahlerei, d. i. der Kunst sichtbare Gegenstände auf einer bloßen Fläche darzustellen. Außer dem, was das schaffende Genie des Künstlers in das Gemälde legt, gehört zu der äussern Richtigkeit desselben, die geometrische und die Luft-Perspectiv. Jene lehrt, die Umrisse der Gegenstände, so zu zeichnen, wie sie nach den Gesetzen des Lichts dem Auge wirklich erscheinen: diese Materie ist einer vollkommen mathema-

tischen Behandlung fähig, und wird daher als ein Abschnitt der angewandten Mathematik angesehen. Die Luft-Perspectiv besteht in der richtigen Abstufung des Lichts und der Deutlichkeit nach der Entfernung. Wegen der Unvollkommenheit der theoretischen und praktischen Photometrie, (XXXIX. 21.) läßt sie keine vollkommne mathematische Behandlung zu.

§. 16.

Eine Bewegung, die wir sehen, ist etwas anders, als die wahre Bewegung; wir nennen sie daher scheinbare Bewegung. Richtiger ist der lateinische Ausdruck Motus apparens. Ein Körper der sich in der Achse des Auges befindet, und gerade auf das Auge zu, oder von demselben weggeht, scheint uns stille zu stehen, wofern er nicht etwa so nahe ist, daß wir die Veränderung seiner scheinbaren Größe, und seiner Entfernung wahrnehmen. In andern Fällen ist es immer nur die Bewegung des Bildes auf der Netzhaut, was wir wahrnehmen, und diese kann begreiflich von der wahren Bewegung des Gegenstandes gar sehr verschieden seyn. Ja wenn das Auge selbst in Bewegung ist, so bewegen sich die Bilder auf der Netzhaut, auch wenn alles ausser dem Auge stille steht. Ist sich daher das Auge (oder vielmehr, das durch das Auge wahrnehmende Vorstellungsvermögen), der Bewegung des Auges nicht bewußt, so muß die Täuschung entstehen, als ob das Auge

still stünde, und die Gegenstände sich bewegten. Dieser Fall findet in der Wirklichkeit statt, da wir uns der durch die Astronomen entdeckten Bewegung unserer Erdkugel nicht bewußt sind. Haben beide, das Auge sowohl als der gesehene Körper Bewegung, so müssen die Erscheinungen noch verwickelter werden, wie dies mit den sonderbar verschlungenen scheinbaren Wegen der Planeten an der Himmelskugel der Fall ist.

Es macht dem menschlichen Geiste Ehre, daß er in alle diese verwickelten Erscheinungen Ordnung und Licht gebracht hat. Aber er konnte nur auf dem Wege der Mathematik dahin gelangen: denn diese ganze Materie ist der strengsten mathematischen Behandlung empfänglich, ob sie gleich nicht als ein abgesonderter Theil der angewandten Mathematik, sondern theils in der Perspectiv, theils in der Mechanik und Astronomie vorgetragen zu werden pflegt.

§. 17.

Aus allem Vorgetragenen erhellet, daß alle optischen Täuschungen nicht lügenhafte Empfindungen, sondern falsche Urtheile sind, wozu uns aber oft die Empfindung eine verführerische Veranlassung giebt. Auch treibt oft die Phantasie bei den Erscheinungen des Sehens ein unbemerktes Spiel, indem sie bei Bildern, welche wegen zu großer Entfernung der Gegenstände, oder wegen Mangel an Licht und Deutlichkeit, keine scharfe

und bestimmte Umrisse haben, das Mangelnde, ohne unser Bewußtseyn, aber gewöhnlich unrichtig ergänzt. Was das gesunde Auge sieht, das ist als Empfindung immer wahr. Was Urtheil und Einbildungskraft hinzufügen, kann falsch seyn. Wir wären sehr übel berathen, wenn die Empfindung uns betrügen, und uns, wie dem Nervenkranken, falsche Bilder vorgaukeln könnte.

Einundvierzigstes Capitel.

Zurückwerfung des Lichts von Spiegelflächen, oder erste Gründe der Katoptrik.

§. 1.

Eigentlich spiegelt jede polirte Oberfläche, selbst die eines durchsichtigen Körpers. Ja es giebt sogar jede erträglich ebene Fläche, wenn man sehr schräge auf sie sieht, einige, wiewohl meistens ziemlich undeutliche Spiegelung. Unter allen festen Körpern sind es aber bloß einige einfache und zusammengesetzte Metalle, welche einer vollkommenen Spiegelpolitur empfänglich sind. Hiervon machen selbst die Glasspiegel keine Ausnahme, da eigentlich das Zinnamalgam, womit die Hinterfläche belegt ist, die Spiegelung bewirkt.

§. 2.

Die Glasspiegel machen zwar für die gewöhnlichen Bedürfnisse die Metallspiegel entbehrlich: aber zu genauen optischen Versuchen sind sie unbrauch-

brauchbar, theils, weil sie eine doppelte Spiegelung, von der Vorder- und Hinterfläche machen, theils, weil das Licht, was zu der Hinterfläche gelangt, im Glase selbst zweimal gebrochen wird, also die Erscheinungen keine reine Wirkung der Zurückstrahlung sind. Um desto unangenehmer ist es, daß es so schwer hält gute Compositionen zu Metallspiegeln zu verfertigen.

§. 3.

Was die Gestalt der Spiegelflächen betrifft, so sind unter den unendlich mannigfaltigen möglichen Arten nur zwei, die einer genauern Erörterung werth sind; die ebenen und die sphärischen oder Kugelspiegel. Unter der letzten Benennung versteht man solche, welche Stücke einer entweder auf der äusseren oder innern Seite polirten Kugelfläche sind. Man hat sich seit Descartes (Cartesius) Zeiten viele vergebliche Mühe gegeben, Spiegel von andern Krümmungen, z. B. von parabolischer, elliptischer ꝛc. zu schleifen. Allein es hat nicht nur ihre genaue Ausarbeitung fast unüberwindliche Schwierigkeiten, sondern es läßt sich auch aus theoretischen Gründen zeigen, daß sie in Ansehung der Wirkung, in den meisten Fällen, schlechter als sphärische Spiegel seyn würden. Kegelförmige und cylindrische Spiegel dienen bloß zu optischen Spielwerken, und sind nicht von Wichtigkeit.

Grundgesetz der Katoptrik.

§. 4.

So mannigfaltig die Lichterscheinungen sind, welche durch Spiegel hervorgebracht werden, so beruhen sie doch alle auf einem einzigen höchst einfachen Grundgesetz. Dieses Grundgesetz der Katoptrik ist folgendes:

> fällt ein Lichtstrahl HA Fig. 57. auf irgend eine Spiegelfläche (BAC, oder DAE, oder FAG), und man errichtet in dem Einfallspunkt A, die Linie AI senkrecht auf den Spiegel, und legt durch sie und den einfallenden Strahl in Gedanken eine Ebene, so liegt auch der zurückgeworfene Strahl in eben dieser Ebene, und zwar so, daß er mit der senkrechten Linie AI einen eben so großen Winkel IAK = IAH als der einfallende Strahl macht.

Mit einem Wort, der einfallende und der zurückgeworfene Strahl haben gegen die senkrechte Linie, AI, und gegen den Spiegel eine entgegengesetzte, aber sonst ganz gleiche Lage. Man nennt IA das Einfallsloth; IAH den Einfallswinkel; IAK den Zurückwerfungswinkel. Fällt ein Strahl senkrecht auf einen Spiegel, so ist der Einfallswinkel, folglich auch der Zurück-

werfungswinkel = o; d. h. der Strahl kehrt in sich selbst zurück.

Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich auf vielerlei Art durch Versuche sichtbar machen, wenn man irgend eine Vorrichtung ausdenkt, durch welche sich die Lage eines einfallenden, und des zurückgeworfenen Strahls sichtbar machen läßt. Eine der einfachsten Methoden besteht darin, daß man in einem verfinsterten Zimmer Sonnenlicht durch eine sehr kleine Oeffnung auf irgend einen Spiegel fallen läßt, wo man die ganze Lage des einfallenden und zurückgeworfenen Lichts in der Luft (durch die Erleuchtung der darin schwimmenden Stäubchen), mit dem Auge verfolgen kann.

Der ebene Spiegel.

§. 5.

Die bekannten Erscheinungen des ebenen Spiegels erklären sich leicht und vollständig, aus diesem Grundgesetz. Es sey AB Fig. 58 der Durchschnitt eines solchen Spiegels; C ein strahlender Punkt vor demselben. Man ziehe CD senkrecht auf den Spiegel, und verlängere diese Linie hinter denselben bis DE = DC. Fällt nun aus C irgend ein Strahl CF auf den Spiegel, so darf man nun von E durch F die Linie FG ziehen, um die Lage des zurückgeworfenen Strahls zu finden. Denn aus der leicht erweislichen Kongruenz der Dreiecke FDC, FDE, folgt, daß die Winkel DFC, DFE

gleich sind; aber DFE ist der Scheitelwinkel von BFG; also sind auch DFC und BFG gleich, d. h. FG ist nach dem katoptrischen Grundgesetz der zurückgeworfene Strahl.

Man sieht also, daß alle aus C kommende Strahlen vom Spiegel so reflectirt werden, als kämen sie aus E. Steht also ein Auge vor dem Spiegel irgendwo so, daß es die zurückgeworfenen Strahlen empfangen kann, so muß es in E eine Abbildung des Punktes C erblicken. Da aber das, was von einem strahlenden Punkt C erwiesen worden, auf alle anwendbar ist, so sieht man leicht, wie das Bild eines ganzen Gegenstandes im Spiegel erscheinen müsse.

Stehen zwei ebene Spiegel in paralleler Lage einander gegenüber, so erblickt man in jedem, eine unendliche Reihe von Bildern des andern, und jede zwei dieser Bilder, die abwechselnd den einen und den andern Spiegel vorstellen, liegen in derselben Entfernung hinter einander als die beiden Spiegel selbst. Befindet sich eine Lichtflamme, oder ein anderer sichtbarer Gegenstand zwischen ihnen, so erblickt man ein Bild von ihm zwischen jeden zwei Spiegelbildern.

Legt man zwei Spiegel so aneinander, daß ihre Ebenen einen Winkel, (z. B. von 60°) machen, so entstehen auch eine Menge von Bildern dieser Spiegel, die abwechselnd den einen und den andern Spiegel vorstellen, und deren jedes gegen

das vorhergehende unter eben den Winkel als die Spiegel selbst (also im obigen Fall unter 60°) geneigt sind. Die Anzahl dieser Bilder ist jederzeit endlich, weil man bald auf ein Bild kommt, das hinter der Ebene desjenigen Spiegels liegt, durch den eine neue Abbildung entstehen sollte. Ist der Winkel, den die Spiegel machen, ein genau messender Theil von 360° (wie im obigen Fall 60° der sechste Theil von 360°) ist, so erblickt man, wenn man zwischen beide Spiegel, von welcher Seite man will, hineinsieht, einen in die gehörige Anzahl (z. B. in sechs) gleiche Winkel getheilten Kreis. Befindet sich zwischen beiden Spiegeln ein sichtbarer Gegenstand (eben eine Lichtflamme), so erscheint dieser zwischen jeden zwei Spiegeln, und alle diese Bilder liegen in dem Umfang eines aus dem Durchschnittspunkt beschriebenen Kreises. Legt man also mehrere Gegenstände zwischen die Spiegel, so erscheinen diese in einer kranzförmigen symmetrischen Vertheilung, um den Durchschnittspunkt der Spiegel herum.

Anm. Alle diese Sätze wird jeder, dem die Mathematik nicht fremd ist, leicht aus dem ableiten, was zu Anfang dieses §. gezeigt worden. Auf dem was zu Ende des §. gesagt worden, beruht das von Brewster in Edinburgh erfundene Kaleidoskop, eine artige Erfindung, über die aber vor einiger Zeit mehr Aufhebens gemacht worden, als eine bloße Spielerei werth ist.

Sphärische Spiegel.

§. 6.

Es sey ADB Fig. 59 der Durchschnitt eines sphärischen Spiegels, und C der Mittelpunkt der Kugel, wovon er ein Segment ist, so nennt man C den **geometrischen**, und den mittelsten Punkt der Spiegelfläche D den **optischen Mittelpunkt** des Spiegels; eine durch C und D gezogene unendliche gerade Linie heißt **die Achse**; CD, (nicht DB oder DA) heißt der **Halbmesser des Spiegels**; DA oder DB ist seine **halbe Breite oder Oeffnung**. Ist die innere Kugelfläche polirt, so heißt der Spiegel ein **Sammelspiegel** oder convexer Spiegel. Ist aber die äußere Fläche polirt, so heißt er ein **Zerstreuungsspiegel** (concaver Spiegel).

Anm. In Ermangelung von Metallspiegeln, die, wenn sie etwas groß seyn sollen, kostbar sind, kann man die Erscheinungen in der Hauptsache zwar auch durch Glasspiegel hervorbringen, die aus einem geschliffenen Glase bestehen, das auf der einen Seite mit Folie belegt ist; aber es ist in Ansehung derselben zu bemerken, 1) daß sie keine so scharfen Bilder hervorbringen können, als bei Fernröhren erfordert werden, aus Gründen die sich in der Dioptrik aufklären werden, 2) daß man dergleichen Spiegel nicht wie Metallspiegel nach der Beschaffenheit ihrer Vorderfläche beurtheilen könne. Ist nämlich ein solcher Spiegel in der Mitte dicker als am Rande, so thut er die Wirkung eines Sammelspiegels; ist er in der Mitte dünner als am Rande, so ist er ein Zerstreu-

ungsspiegel, die Vorderfläche mag in beiden Fällen erhöht, vertieft oder eben seyn.

Erscheinungen durch Sammelspiegel.

§. 7.

Wendet man die Achse eines Sammelspiegels gegen die Sonne, so sammelt er alle auf seine Fläche fallenden Strahlen in einen sehr kleinen Raum F, der gerade zwischen C und D in der Mitte liegt. In diesem Raume zeigt sich nicht nur ein äusserst blendendes Licht, sondern auch eine Hitze, der nur die Hitze eines durch Sauerstoffgas verstärkten Feuers (XX. 3.) gleich kommt. Man nennt daher F den Brennpunkt (Focus), und die Entfernung DF die Brennweite des Spiegels. Soll diese Wirkung möglichst stark seyn, so muß der Spiegel sehr breit, seine Brennweite aber kleiner, oder wenigstens nicht viel größer, als die Breite seyn: denn je größer die Brennweite in Vergleichung der Breite des Spiegels ist, desto größer folglich auch unwirksamer wird der Brennraum. Ein Körper den man der Hitze des Brennraums aussetzen will, muß kleiner seyn, als dieser Raum, damit er von der Hitze ganz umgeben werde. Ein zu diesem Zweck eingerichteter Sammelspiegel heißt ein Brennspiegel.

Anm. Brennspiegel, wenn sie die vollkommenste Wirkung thun sollen, müssen groß (etwa ein Paar Fuß breit) seyn, und aus Metall geschliffen und gut polirt seyn. Solche Spiegel sind aber sehr kostbar.

Ein sehr verdienter Gelehrter, von Tschirnhausen, ließ im Umfang des vorigen Jahrhunderts mehrere verfertigen, die zum Theil noch vorhanden sind, und sehr geschätzt werden. Convex geschliffene und auf einer Seite belegte Glasspiegel, können zwar auch als Brennspiegel gebraucht werden, hat man aber keinen Metallspiegel, so ist es besser Brenngläser, von denen weiter unten die Rede ist, zu den Versuchen zu brauchen.

§. 8.

Stellt man eine Lichtflamme in den Brennpunkt eines Sammelspiegels, so wird alles Licht, was von ihr auf den Spiegel fällt, fast parallel mit der Achse reflectirt. Rückt man die Lichtflamme näher, so breitet sich das zurückgeworfene Licht beim Fortgehn immer mehr aus. Da aber paralleles Licht überall gleiche Stärke behält, ausser in so fern es durch das Mittel geschwächt wird, durch welches es geht, so kann man durch dieses Mittel eine starke Erleuchtung auf eine beträchtliche Weite fortpflanzen. Wird ein Sammelspiegel zu diesem Zweck gebraucht, so heißt er ein Erleuchtungsspiegel, oder ein Collectivspiegel.

§. 9.

Die Bilder der Gegenstände, welche ein Sammelspiegel macht, zeigen viele mannigfaltigere Erscheinungen, als die eines ebenen Spiegels. Man kann sie am vollständigsten beobachten, wenn man eine Lichtflamme in einem verfinstertem Zimmer vor den Spiegel stellt.

1) Steht sie innerhalb der Brennweite, nahe bei dem Spiegel, so sieht man ein aufrechtes und vergrößertes Bild von ihr im Spiegel, welches etwas weiter hinter dem Spiegel steht, als die Lichtflamme vor ihm. Rückt man das Licht dem Brennpunkt näher, so wird das Bild größer und entfernt sich.

2) Steht die Flamme im Brennpunkt, so findet man ihr Bild nirgends deutlich, sondern nur den im vorigen §. erwähnten Lichtschein, der beinahe aus parallelen Strahlen besteht.

3) Rückt man das Licht über den Brennpunkt hinaus, so erblickt man weiter kein Bild derselben im Spiegel; aber auf einer gegenüberstehenden weißen Wand mahlt sich ein verkehrtes und vergrößertes Bild derselben ab, wenn man das Licht in eine gewisse Entfernung bringt. Rückt man das Licht noch weiter ab, so kommt das Bild näher, und wird kleiner. Steht die Flamme in der doppelten Brennweite, so fällt das Bild mit ihr zusammen. Rückt nun die Flamme noch weiter ab, so rückt das Bild, welches nun kleiner ist als die Flamme, immer näher zum Brennpunkt, und würde endlich, wenn man das Licht sehr weit entfernen könnte, ganz in den Brennpunkt fallen. Man sieht hieraus, daß der Brennraum eines Brennspiegels eigentlich nichts als ein Bild der Sonne ist, welches in dem Brennpunkt entsteht. Uebrigens bemerken wir, daß ein Spiegel, der recht scharfe und

deutliche Bilder geben soll, in gewisser Rücksicht das Gegentheil von einem Brennspiegel seyn müsse. Denn seine Breite muß in Vergleichung der Brennweite so klein als möglich seyn, was bei dem Brennspiegel umgekehrt war (§. 7).

§. 10.

Eine vollständige Erklärung der Entstehung aller dieser Erscheinungen ist nur durch Hülfe der Mathematik möglich. Es giebt indessen eine einfache, und sehr sinnreiche Methode durch Construction zu bestimmen, von welcher Art in jedem gegebenen Fall die Erscheinung seyn muß. Sie setzt aber einige Resultate der mathematischen Untersuchungen voraus, die wir uns begnügen müssen, hier bloß historisch kennen zu lernen: doch wollen wir am Ende dieses Capitels die mathematischen Beweise hinzufügen. Diese Voraussetzungen sind folgende:

1) Jeder mit der Achse parallel einfallende Strahl wird nach dem Brennpunkt reflectirt.

2) Alle Strahlen die von irgend einem einzigen Punkt kommen, der in der Achse oder nahe bei derselben liegt, werden so reflectirt, daß die Richtungen der zurückgeworfenen Strahlen sich wieder in einem Punkte durchschneiden, in welchem also ein Bild des strahlenden Punktes entsteht. Es liegt aber dieses Bild in manchen Fällen vor, in andern Fällen hinter dem Spiegel; auch

kann es in unendlicher Entfernung liegen, wodurch die reflectirten Strahlen parallel werden.

Eine Folgerung dieses Satzes ist: daß wenn man nur von zwei Strahlen die aus einem Punkt kommen, die Lage kennt, welche sie durch die Reflection erhalten, so kennt man auch die Lage aller übrigen reflectirten Strahlen, die zu eben dem Punkt gehören.

3) Wenn mehrere strahlende Punkte in gleicher Entfernung vor dem Spiegel liegen, so liegen auch ihre Bilder in gleicher Entfernung vom Spiegel.

Eine Folgerung hiervon ist, daß, wenn ein Gegenstand irgendwo vor dem Spiegel steht, die reflectirten Strahlen jederzeit irgendwo, es sey vor oder hinter dem Spiegel, ein Bild desselben machen müssen.

§. 11.

Dies als richtig vorausgesetzt, so läßt sich zeigen, daß man die ganze Beschaffenheit einer Erscheinung bestimmen könne bloß durch zwei Strahlen, die aus dem äussersten Punkt eines Gegenstandes kommen. Man zeichnet zu dem Ende den Durchschnitt eines Spiegels ACB, Fig. 60. 61. 62. seine Achse CD und seinen Brennpunkt E: den strahlenden Gegenstand, stellt man durch eine gerade Linie FG vor, die auf der Achse senkrecht steht, und diese nehme man entweder kleiner oder doch nicht größer als die Breite

des Spiegels an, aber zu beiden Seiten der Achse gleich. Von dem höchsten Punkt F dieses Gegenstandes zieht man zwei Strahlen FA und FC auf den Spiegel, einen FA der mit der Achse parallel ist, folglich nach dem Brennpunkt E, (§. 10. n. 1.) und den andern FC, nach dem optischen Mittelpunkt C des Spiegels, der nach dem untersten Punkt G des Gegenstandes reflectirt wird (nach dem Grundgesetz der Katoptrik, §. 4). Die Richtung dieser beiden reflectirten Strahlen verlängert man, bis sie sich durchschneiden. Der Durchschnittspunkt f ist die Abbildung vom höchsten Punkt F des Gegenstandes (§. 10. n. 2). Zieht man aus diesem Durchschnittspunkt f eine senkrechte Linie fg durch die Achse, und macht sie zu beiden Seiten derselben gleich lang (fh = gh), so stellt diese das Bild dar, welches der Spiegel unter den gegebenen Umständen hervorbringt (§. 10. n. 3).

Fig. 60. stellt den Fall vor, wo der Gegenstand FG innerhalb der Brennweite CE steht. Die beiden reflectirten Strahlen AE und CG die ursprünglich aus F kommen, laufen hier auseinander, und müssen also rückwärts hinter dem Spiegel verlängert werden, um ihren Durchschnittspunkt f zu finden, welches die Abbildung des Punktes F so wie fg die Abbildung des ganzen Gegenstandes ist. Hierdurch erklärt sich die Erscheinung §. 9. n. 1.

Fig. 61. stellt den Fall vor, wenn der Gegenstand FG im Brennpunkt E selbst steht. Hier werden die beiden reflectirten Strahlen AE und CG parallel. Denn da der Spiegel nach der Bemerkung am Ende des 9. §. sehr wenig gekrümmt seyn darf, wenn deutliche Bilder entstehen sollen, so kann man CAFE als ein Parallelogramm ansehen; dann ist aber auch CAEG ein Parallelogramm, weil CA und EG gleich und parallel sind. Es giebt also für diesen Fall kein Bild des Gegenstandes, oder man kann auch sagen, das Bild liege in unendlicher Entfernung vor oder hinter dem Spiegel. Hierdurch erklärt sich §. 9. n. 2.

Fig. 62. stellt den Fall vor, wo der Gegenstand FG ausser der Brennweite CE steht. Die beiden reflectirten Strahlen Af und CG laufen hier offenbar vor dem Spiegel zusammen und durchschneiden sich hinlänglich verlängert unter der Achse in f, so daß also der Spiegel hier ein verkehrtes in freier Luft schwebendes Bild fg des Gegenstandes macht. Hierdurch erklärt sich §. 9. n. 3.

Auf ähnliche Art, als diese drei Fälle, läßt sich jeder andere bestimmte Fall behandeln; besonders wird der Leser im Stande seyn, die besondern Unterabtheilungen des letzten Falls, die §. 9. n. 3. erwähnt worden, wenn der Gegenstand entweder zwischen dem Brennpunkt, und dem geometrischen Mittelpunkt, oder in dem geometrischen Mittelpunkt selbst steht, auf ähnliche Art zu untersuchen.

Erscheinungen der Zerstreuungsspiegel.

§. 12.

Die Erscheinungen, welche erhabene oder Zerstreuungsspiegel hervorbringen, wenn ein wirklicher Gegenstand sein Licht auf sie wirft, sind viel einfacher. Der Gegenstand stehe wo er wolle vor dem Spiegel, so erblickt man ein verkleinertes und aufrechtstehendes Bild desselben nahe hinter dem Spiegel. Richtet man die Achse eines solchen Spiegels gegen die Sonne, so sammelt er nicht das Licht derselben, sondern zerstreut es. Es läßt sich aber sowohl durch Versuche als Demonstration zeigen, daß das kleine Sonnenbild von welchem dieses zerstreute Licht kommt, seine Stelle gerade in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Mittelpunkt, also hinter dem Spiegel hat. Man nennt daher diese Stelle den negativen Brennpunkt des Spiegels, und seinen Abstand hinter dem Spiegel die negative Brennweite desselben.

§. 13.

Die §. 10. gemachten theoretischen Voraussetzungen gelten eben sowohl vom Zerstreuungs- als vom Sammel-Spiegel; nur muß die erste etwas anders ausgedrückt werden, nämlich: ein mit der Achse paralleler Strahl wird so reflectirt, als käme er aus dem negativen Brennpunkt. Unter

dieser Voraussetzung findet die §. 11. beschriebene Construction auch hier ihre Anwendung.

Es sey also ACB Fig. 63. der Durchschnitt eines solchen Spiegels, ED seine Achse, und E der negative Brennpunkt desselben. Der Gegenstand sey FG. Aus F ziehe man den Strahl FA parallel mit der Achse; dieser wird so in der Richtung AK reflectirt, als käme er aus E. Der Strahl FC, wird nach G zurückgeworfen. Die beiden reflectirten Strahlen AK und CG laufen offenbar auseinander, und müssen also rückwärts hinter dem Spiegel verlängert werden, um den Durchschnittspunkt f ihrer Richtung zu finden, und die ganze Abbildung fg des Gegenstandes FG zu zeichnen.

§. 14.

Wer einen sphärischen Spiegel besitzt, muß die Brennweite desselben kennen, wenn er seine Erscheinungen richtig beurtheilen will.

Bei einem Sammelspiegel läßt sie sich auf mehr als eine Art finden. — a) Man hält den Spiegel gegen die Sonne oder den Mond, und mißt wie weit das Bild desselben vom Spiegel entfernt ist. — b) Man schneidet eine runde Scheibe aus Papier, so groß als der Spiegel, zieht einen Durchmesser auf derselben, und schneidet auf diesem in gleicher Entfernung vom Mittelpunkt zwei kleine runde Löcher aus. Dann befestigt man das Blatt am Spiegel, und hält ihn gegen die Sonne. Die durch die kleinen Löcher reflectirten Strahlen

werden zusammenlaufen. Man sucht die Stelle, wo sie zusammenfallen, und mißt den Abstand derselben vom Spiegel. — Eine dritte Methode wird unten in den math. Zusätzen §. 22. n. 1. angezeigt werden.

Bei einem Zerstreuungsspiegel ist nur die zweite Methode anwendbar. Hat man die Scheibe auf dem Spiegel befestigt, so laufen die reflectirten Strahlen aus einander, und man muß die Stelle suchen, wo sie gerade noch einmal so weit von einander entfernt sind, als auf dem Spiegel. Mißt man den Abstand dieser Stelle vom Spiegel, so erhält man die negative Brennweite desselben.

Mathematische Zusätze.

§. 15.

Die sämmtlichen §. 10. und 13. gemachten Voraussetzungen sind nicht in absoluter Strenge, sondern nur bedingt richtig. Die Bedingung ist: daß sie der strengen Wahrheit desto näher komme, je kleiner die Breite des Spiegels in Vergleichung mit der Brennweite, oder dem Halbmesser ist. Doch läßt sich durch genauere Untersuchung zeigen, daß die Abweichung für unsere Sinne kaum bemerklich ist; wenn auch der Bogen des Spiegels mehrere Grade faßt. Für Spiegel die deutliche Bilder geben sollen, beobachtet man die Regel, daß die Breite höchstens der Hälfte der Brennweite gleich seyn dürfe. In gewissen Fällen muß sie aber noch viel kleiner seyn.

Diese Bemerkung rechtfertigt einige Abweichungen von der vollkommenen Strenge, die wir uns bei den folgenden Beweisen erlauben werden.

§. 16.

Lehrsatz. Ein Lichtstrahl EA Fig. 64., welcher parallel mit der Achse auf einen Sammelspiegel fällt, wird desto genauer nach der Mitte F, zwischen dem optischen Mittelpunkt D und dem geometrischen C zurückgeworfen, je näher er bei der Achse den Spiegel trifft. — Beweis: Zieht man eine Linie von A nach C, so steht diese (wie jeder Halbmesser) auf der Fläche des Spiegels bei A senkrecht. Man mache also den Winkel CAF = CAE, so ist AF (nach §. 4.) der zurückgeworfene Strahl. Man betrachte nun das Dreieck AFC, so sieht man leicht, daß AF = FC, weil die Winkel FAC und FCA gleich sind: denn beide sind dem Winkel EAC gleich: nämlich FAC = CAE (wegen §. 4.) und FCA = CAE, weil es Wechselwinkel an parallelen Linien sind. Wäre nun auch AF = DF, so müßte auch DF = FC seyn, also F genau in der Mitte zwischen D und C liegen. Dies ist strenge nicht richtig: doch ist der Unterschied zwischen der kleinern Linie DF und der größeren AF, um desto geringer, je kleiner AD in Vergleichung mit DF oder DC ist. Faßt der Bogen AD oder der Winkel AFD nur wenige Grade, so kann man unbedenklich DF = AF, folglich auch DF = CF setzen. (Hierdurch ist §. 10. n. 1. bewiesen).

§. 17.

Lehrsatz. Bei einem Zerstreuungsspiegel ADB Fig. 65. wird der mit der Achse pa-

rallele Strahl EA in der Richtung AH so reflectirt, als käme er aus der Mitte des Halbmessers CD. — Der Beweis ist dem vorigen vollkommen ähnlich. Die Linie CAG steht auf dem Bogen bei A senkrecht. Macht man daher GAH = GAE, so ist AH der reflectirte Strahl, welcher rückwärts verlängert die Achse in F schneidet. Im Dreieck CAF ist CF = AF, weil CAF = ACF. Der Grund von der Gleichheit dieser Winkel aber ist, weil CAF = HAG als Scheitelwinkel, und ACF = GAE als Wechselwinkel, und HAG = GAE wegen §. 4. FA und FD aber sind zwar wie in der vorigen Figur nicht in aller Strenge gleich, nähern sich aber der Gleichheit unter denselben Bedingungen als im vorigen §.; daher auch hier desto genauer CF = FD je näher der einfallende Strahl bei der Achse liegt (dies zum Beweise der Voraussetzung §. 13).

§. 18.

Aufgabe. In der Achse ED des sphärischen Spiegels ADB Fig. 66. befindet sich ein strahlender Punkt E. Ein von ihm kommender Strahl EA trifft den Spiegel in A und wird nach F zurückgeworfen. Es soll eine Gleichung gefunden werden, zwischen der Brennweite des Spiegels = p, der Entfernung des leuchtenden Punktes DE = a, und der Entfernung DF = α, in welcher der reflectirte Strahl die Achse durchschneidet. — Auflösung: Wenn C der geometrische Mittelpunkt des Spiegels ist, so steht CA auf der Fläche des Spiegels senkrecht, also ist nach dem katoptrischen Grundgesetz CAF = CAE. Nach einem bekannten geometrischen Satz aber ist CAF = AFD — ACF, und CAE = ACF — AEC, also auch AFD —

ACF = ACF — AEC, oder 2 ACF = AFD + AEC. In der Trigonometrie wird ferner erwiesen, daß in einem rechtwinklichen Dreieck, das einen sehr kleinen Winkel an der Basis hat, dieser Winkel dem Quotienten des Perpendikels durch die Basis desto genauer proportional sey, je kleiner er ist. Da wir nun, wenn deutliche Bilder entstehen sollen, den Bogen AD als sehr klein gegen DF, DC und DE ansehen müssen, so dürfen wir ihn, als eine auf der Achse senkrecht stehende gerade Linie, folglich die Dreiecke ADF, ADC, ADE, als rechtwinkliche Dreiecke betrachten, welche bei F, C, E, an der Basis sehr kleine Winkel haben. Demnach ist

der Winkel ACF, proportional mit $\frac{AD}{DC}$

— — AFD, — — — $\frac{AD}{DF}$

— — AEC, — — — $\frac{AD}{DE}$.

Setzt man in der obigen Gleichung 2 ACF = AEC + AFD stattt der Winkel diese ihre proportionalen Werthe, so erhält man

$$\frac{2\,AD}{DC} = \frac{AD}{DE} + \frac{AD}{DE}$$

oder, wenn man alles durch AD dividirt,

$$\frac{2}{DC} = \frac{1}{DE} + \frac{1}{DF}$$

oder, wenn man 2 p statt DC, a statt DE und α statt DF schreibt,

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

welches die verlangte Gleichheit zwischen p, a und α ist.

Anm. Die hier gefundene Formel ist von unglaublicher Fruchtbarkeit; und wir werden theils hier, theils in der Dioptrik zeigen, daß sich alle mögliche Erscheinungen die bei sphärischen Spiegeln und Gläsern vorkommen, aus ihr demonstriren lassen, so daß sie als das Fundament aller optischen Rechnungen anzusehen ist. Es ist nützlich einen so wichtigen Satz, in Worten kurz und bestimmt ausdrücken zu können. Zu dem Ende bemerke man, daß es nicht ungewöhnlich ist, einen Quotienten der herauskommt, wenn man Eins durch irgend eine Größe dividirt, den umgekehrten Werth dieser Größe zu nennen. So ist $\frac{1}{p}$ der umgekehrte Werth von p u. s. f.

Eine Größe und ihr umgekehrter Werth stehen in einem solchen gegenseitigen Verhältniß, daß, wenn man einen von beiden weiß der andere allezeit gefunden wird, wenn man Eins durch das Gegebene dividirt (den auch 1 dividirt durch $\frac{1}{p}$ ist gleich p). Da jeder dieser Werthe so leicht durch den andern gefunden werden kann, so ist es beinahe einerlei, welchen von beiden man als eine gegebene oder gesuchte Größe ansehen will. Man thut daher wohl der obigen Formel ihre Gestalt zu lassen, und die Divisoren nicht wegzuschaffen, wodurch sie sehr an Einfachheit und Brauchbarkeit verlieren würde.

Nennt man DE = a, und DF = α die beiden Vereinigungsweiten der Strahlen, so drückt die Formel in der obigen Gestalt, folgenden Lehrsatz aus: der umgekehrte Werth der Brennweite, ist gleich der Summe von den umgekehrten Werthen der beiden Vereinigungsweiten.

§. 19.

Zusätze. 1) Es ist eine wesentliche Eigenschaft jeder in allgemeinen Größenzeichen ausgedrückten Formel, daß sie nicht bloß für den Fall gilt, den man unmittelbar zum Grund gelegt hat, sondern für alle erdenklichen Fälle derselben Art. Nur muß man bemerken, daß man bei der Anwendung auf andere Fälle bisweilen das Zeichen einer oder der andern Größe verändern muß. In dem Fall von dessen Betrachtung man ausgeht sieht man in der Regel alle darin vorkommenden Größen (p, a, α) ohne Rücksicht auf ihre Lage als positiv an. Hat aber eine dieser Linien in einem andern Fall eine entgegengesetzte Lage, so muß man das Zeichen, welches sie in der Formel hat, in das Entgegengesetzte verwandeln. So gilt z. B. unsere Formel für alle erdenklichen Fälle, wo ein einfallender Strahl EA (F. 66.) die Achse irgendwo in E schneidet. So lange E vor dem Spiegel liegt, wie Fig. 66., so bleibt A positiv. Kommt aber ein Strahl nicht aus einem Punkt der Achse, sondern geht auf einen Punkt der Achse zu, wie GH Fig. 67. auf E zugeht, so liegt die Entfernung DE die, Fig. 66., vor dem Spiegel war, jetzt hinter demselben, daher muß jetzt DE durch — a bezeichnet werden, und die Formel würde für einen Sammelspiegel nun $\frac{1}{p} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ heißen. Ist aber der Spiegel von welchem die Rede ist ein Zerstreuungsspiegel, so haben Halbmesser und Brennweite die entgegengesetzte Lage von Fig. 66 u. 67., also muß man für die Brennweite — p setzen. Liegt in diesem Fall der strahlende Punkt wie Fig. 66. vor dem Spiegel, so bleibt a positiv, und die Formel heißt $-\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$.

Läge aber der Durchschnitt des einfallenden Strahls hinter dem Spiegel wie Fig. 67., so wäre auch a negativ, also $-\frac{1}{p} = -\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ u. dgl. m. Das Gesagte ist indessen nur anzuwenden auf diejenigen Größen, welche man in einem besonden Fall, als gegebene Größen ansieht: denn das Zeichen der gesuchten Größe muß sich von selbst durch die Rechnung ergeben.

Man sieht übrigens leicht, daß von den drei Größen p, a und α, welche die Formel enthält, jede als eine gesuchte Formel angesehen werden kann. Die Formel dient also allgemein, wenn von diesen drei Größen zweie gegeben sind, die dritte zu finden.

2) Da AD (Fig. 66.) aus der Rechnung ganz ausgefallen ist, so ist dies ein Zeichen, daß die Größe dieses Bogens keinen merklichen Einfluß auf die Lage des Punktes F habe, wo der reflectirte Strahl die Achse schneidet, wofern nur AD überhaupt klein ist, wie die ganze Rechnung voraussetzt. Hieraus folgt aber, daß nicht bloß der Strahl EA, sondern alle aus E kommenden Strahlen sich nach der Zurückstrahlung ziemlich genau in F vereinigen, und hier ein Bild des Punktes E hervorbringen werden, welches jedem Auge sichtbar seyn wird, das so steht, daß es die von F sich wieder ausbreitenden Strahlen in einiger Entfernung empfangen kann.

3) Da aber unsere Formel für jede Lage des Punktes E in der Achse gilt, so ist hierdurch bewiesen: daß von jedem strahlenden Punkte in der Achse durch die Reflection allezeit wieder ein Bild desselben in der Achse entsteht; und dieses Bild liegt vor dem Spiegel, wenn die Rechnung einen positiven Werth von α giebt; hin-

ter demselben, wenn sich der Werth von α negativ findet; in unendlicher Entfernung, wenn $\alpha = \infty$, oder was auf Eins hinausläuft, $\frac{1}{\alpha} = 0$ gefunden wird: (denn 0 und ∞ sind umgekehrte Werthe von einander). Der letzte Fall tritt z. B. ein, wenn man für einen Sammelspiegel a = p setzt: denn man hat alsdann $\frac{1}{p} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\alpha}$ d. i. $\frac{1}{\alpha} = 0$. Gehen nämlich die Strahlen vom Brennpunkt aus, so werden sie durch die Reflection, der Achse parallel, d. h. ihr Vereinigungspunkt liegt in unendlicher Entfernung.

§. 20.

Aufgabe. Die Umstände der Zurückstrahlung zu bestimmen, wenn der strahlende Punkt ausser der Achse, doch nicht fern von derselben liegt: — Auflösung. Es sey G Fig. 68. ein strahlender Punkt nahe bei der Achse. Man ziehe GCH durch den geometrischen Mittelpunkt bis zum Spiegel; so sieht man leicht, daß diese Linie völlig als eine Achse angesehen werden könne. Fällt demnach ein Strahl GK auf den Spiegel, der nach GL reflectirt wird, und man setzt HG = a, und HL = α, so muß wie vorher $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ seyn. Und alle Folgerungen die wir hieraus in Ansehung der Achse §. 19. gezogen haben, müssen jetzt in Ansehung der Linie GH gelten. Dahin gehört besonders, daß jeder strahlende Punkt in der Linie GH irgendwo in eben der Linie eine Abbildung erhält, die aber bald vor, bald hinter dem Spiegel, bald auch in unendlicher Entfernung liegen kann. Und

so ist die zweite Voraussetzung die wir §. 10. annähmen vollständig erwiesen.

§. 21.

Zusätze. Da wir überall voraussetzen, daß die Breite des Spiegels in Vergleichung der Brennweite gering sey, der strahlende Punkt G aber nahe bei der Achse liege, so ist klar, daß wenn man Gg und Ll senkrecht auf die Achse zieht, die beiden Linien HG = a, und gD, desgleichen HL = α und lD, beinahe gleich seyn werden. Hieraus folgt aber, daß die Formel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ selbst dann von der Wirklichkeit wenig abweichen wird, wenn man sich unter a die Linie Dg, und unter α die Linie Dl vorstellt. Ist also Gg ein strahlender Gegenstand, so ist für alle Punkte desselben a = Dg, und α = Dl; und hieraus folgt weiter, daß wenn Gg ein Gegenstand ist, sich alle Punkte desselben in der Linie Ll abbilden, also diese Linie Ll selbst das Bild des Gegenstandes seyn wird. Auf diese Art ist auch die dritte §. 10. gemachte Voraussetzung hinlänglich erwiesen.

§. 22.

Anmerkungen. Der vorige Zusatz bietet unter andern ein bequemes Mittel dar, die Brennweite eines Sammelspiegels zu finden. Man stellet vor den Spiegel eine Lichtflamme in solcher Entfernung, daß sich an der gegenüberstehenden Wand ein deutliches verkehrtes Bild derselben zeigt. Dann mißt man die Entfernung des Bildes und des Gegenstandes, (es versteht sich in einerlei Maaß), so hat man a und α, und kann daraus vermittelst der Formel p finden.

Alle optische Rechnungen werden sehr schwierig

und verwickelt, wenn man sie in absoluter Strenge führen soll. Allein für das Praktische ist diese Strenge gar nicht nöthig, wenn von solchen optischen Werkzeugen die Rede ist, die scharfe Bilder geben sollen. Denn um diese zu erhalten, muß man schlechterdings Spiegeln und Gläsern eine im Verhältniß ihrer Brennweite geringe Breite geben, wodurch alle die Abweichungen von der Strenge gerechtfertigt werden, die wir uns erlaubt haben. Bei Instrumenten aber, wo es eben nicht auf die vollkommenste Deutlichkeit angelegt ist, rechtfertigt sich jede Abweichung von der Strenge, von selbst.

Zweiundvierzigstes Capitel.

Von der Brechung des Lichts in durchsichtigen Körpern; oder erste Gründe der Dioptrik.

§. 1.

Alle Luftarten, die meisten tropfbaren und sehr viele feste Körper sind durchsichtig. Und vielleicht giebt es keinen einzigen Körper, der nicht einen gewissen Grad von Durchsichtigkeit hätte, da selbst das so dichte und in größern Massen völlig undurchsichtige Gold, in den feinen Blättchen, welche die Goldschläger daraus verfertigen, eine gewisse Durchsichtigkeit zu haben scheint. Die meisten durchsichtigen Körper, lassen das Licht ungeändert, d. h. in seiner ursprünglichen Farbe, die es vor dem Durchgaug hatte, hindurch. Viele lassen aber auch nur gewisse Farben des Lichts hindurch,

und erscheinen daher selbst als gefärbt. Es giebt sogar Körper, welche eine andere Farbe zurückwerfen, und eine andere durchlassen, z. B. Lackmus-Tinctur, Goldblättchen, milchweißes Glas wenn es dünne ist u. dgl. m.

§. 2.

Zur vollkommenen Durchsichtigkeit gehört bei tropfbaren und festen Körpern, daß ihre Oberfläche vollkommen polirt sey. Bei tropfbaren Körpern bringt die Schwere selbst, nach den Gesetzen der Hydrostatik, die vollkommene Politur der Oberfläche hervor. Bei festen Körpern bewirkt zwar die Natur in den Krystallisationen auch eine gewisse Politur; die brauchbarste Politur ist indessen doch Sache der Kunst. Fehlt einem durchsichtigen Körper die Politur, so ist er zwar durchscheinend, aber nicht durchsichtig.

Das Grundgesetz der Dioptrik.

§. 3.

Die Erklärung aller Erscheinungen der Durchsichtigkeit beruht auf folgendem Gesetz:

Wenn ein Lichtstrahl aus einem durchsichtigen Mittel in ein anderes übergeht, so weicht der Strahl von seiner vorigen Richtung ab, oder wird gebrochen, und zwar so, daß wenn man sich an der Stelle des Durchgangs eine Linie senkrecht auf der brechen-

den Fläche vorstellt, der Strahl im dichteren Mittel allezeit mit dieser Linie einen kleinern Winkel, aber nach einem bestimmten Gesetz macht, als im dünnern.

Um diesem Gesetz die nöthige mathematische Bestimmtheit zu geben, sey A Fig. 69. die Stelle wo ein Lichtstrahl aus einem Mittel in das andere übergeht. Die Fläche, welche beide Mittel scheidet, sey entweder eine Ebene BC, oder eine erhabene DE, oder eine vertiefte FG. Ueber derselben sey das dünnere, unter ihr das dichtere Mittel. Der einfallende Strahl sey HA. Man errichte in A das Einfallsloth IAK, und lege durch IAK und AH in Gedanken eine Ebene, so bleibt zwar der gebrochene Strahl in dieser Ebene, aber so, daß der Winkel KAL im dichtern Mittel, kleiner ist, als der Winkel HAI im dünneren Mittel. Man beschreibe aus A mit beliebigem Halbmesser den Kreis HILK; aus den Punkten H und L, wo der einfallende und der gebrochene Strahl den Umfang schneiden, ziehe man die Linien HM und LN senkrecht auf das Einfallsloth, so haben die Versuche gelehrt, daß diese beiden Linien, nicht die Winkel HAI, LAK, für jede zwei Mittel ein unveränderliches Verhältniß haben.

Wenn die Hypothenuse eines rechtwinklichen Dreiecks = 1 gesetzt wird, so nennt man in der

Trigonometrie, jeden der beiden andern Seiten, in Zahlen aus dieser Einheit ausgedrückt, den Sinus ihres Gegenwinkels. So kann man hier, weil der Halbmesser willkührlich ist, also auch = 1 gesetzt werden kann, HM und LN die Sinus der Winkel HAI und LAK nennen; und das Brechungsgesetz läßt sich kurz so ausdrücken:

Wenn ein Strahl aus einem Mittel in das andere geht, so wird er so gebrochen, daß die Sinus der Winkel, welche der Strahl in beiden Mitteln mit dem Einfallsloth macht, für jede zwei Mittel ein unveränderliches Verhältniß haben.

Dieses Verhältniß heißt das Brechungs-Verhältniß. Die Winkel HAI, LAK pflegt man nach den Mitteln zu benennen, in welchen sie sind; der Winkel in der Luft, im Wasser, im Glase ꝛc.

§. 4.

Die verständlichste (wenn auch nicht genauste) Art von Versuchen über dieses Gesetz, lassen sich mit einem Glaswürfel ABCD Fig. 70. machen. Man stellt ihn auf zwei rechtwinklich zusammengesetzte Brettchen, die durch die Linien EC und CF angedeutet sind; sie müssen etwas breiter seyn, als der Würfel. Setzt man diese Vorrichtung in den Sonnenschein, so daß das Licht in der Richtung GH darauf fällt, so wird der Strahl GH im Glase nach HK gebrochen; neben dem Würfel aber geht er

gerade bis F fort. Es wird also der Schatten der Vorderwand CE im Glase bis K, ausser demselben bis F reichen. Zieht man nun durch H das Einfallsloth LHM, so sieht man leicht, daß der Winkel FHM dem Winkel in der Luft GHL gleich ist, und KHM ist der Winkel im Glase. Mißt man die Länge des Schattens in und ausser dem Glase, so kann man daraus, durch Rechnung, oder auch durch Zeichnung, beide Winkel finden. Ließe man nun das Licht nach und nach unter verschiedenen Winkeln einfallen, und entwürfe für jeden Fall eine Zeichnung wie Fig. 69., so würde man die Sinus der Winkel zeichnen, und ihr Verhältniß vermittelst eines genauen Maaßstabs finden können.

Genauere Untersuchungen können mit einem dreiseitigen Glasprisma angestellt werden, erfordern aber mehr Theorie, als wir hier voraussetzen.

Anm. Es sey K (Fig. 70.) ein unter dem Würfel befindlicher sichtbarer Punkt; GH sey ein Strahl, der von demselben zur obern Fläche gelangt, und in der Luft nach G gebrochen wird: so wird ein in G befindliches Auge den gedachten Punkt nicht in K, sondern in der Verlängerung von GH, also in F sehen. Mißt man die Linien HM, MK, MF, so können die Winkel MHK, MHF und ihre Sinus durch Rechnung oder Zeichnung gefunden, und so die Richtigkeit des Gesetzes auch ohne Sonnenlicht untersucht werden.

§. 5.

Vor der Mitte des 17ten Jahrhunderts glaubten die Naturforscher, daß nicht die Sinus, son-

dern die Winkel selbst, ein beständiges Verhältniß hätten. Ein Holländer Snellius war der erste, der das richtige Gesetz entdeckte. So lange indessen der Winkel IAH, LAK Fig. 69. klein sind, kann man unbedenklich den Winkeln selbst dieses Verhältniß beilegen; und da bei genau dioptrischen Instrumenten nie große Winkel vorkommen, so wird auch noch jetzt bei den gemeinen dioptrischen Rechnungen, das Verhältniß der Winkel selbst als beständig angenommen.

§. 6.

Es sind aber in Ansehung des obigen Grundgesetzes noch folgende Umstände zu bemerken:

1) Fällt ein Strahl senkrecht ein wie IA, so geht er ungebrochen durch. In jedem andern Fall wird er gebrochen, und zwar um desto stärker, je schärfer er einfällt.

2) Ein Lichtstrahl nimmt vor- und rückwärts einerlei Weg zwischen zwei Mitteln, d. h. wenn LA ein einfallender Strahl wäre, so würde AH der gebrochene Strahl seyn.

3) Mit jeder Brechung ist auch eine Zurückstrahlung von der polirten Oberfläche BC verbunden, der Strahl gehe aus dem dünnen in das dichtere Mittel, oder umgekehrt. Es theilt sich nämlich bei A der Strahl; ein Theil desselben wird nach dem Grundgesetz der Katoptrik reflectirt, (wie das Spiegeln jeder polirten Oberfläche beweiset), und der andere Theil wird nach dem Grundgesetz

der Dioptrik gebrochen. Je schiefer der einfallende Strahl auffällt, desto stärker ist der reflectirte, desto schwächer also der gebrochene Theil: denn alle polirte Flächen spiegeln in schräger Richtung weit lebhafter, als wenn man senkrecht auf sie sieht. Ja wenn der einfallende Strahl im dichtern Mittel ist, nnd mit der Fläche einen sehr kleinen Winkel macht, so kann er von einer gewissen Gränze an, keinen Brechungswinkel in andern Mitteln mehr geben, und dann wird alles Licht reflectirt. An einem Glase mit Wasser kann man deutlich sehen, daß nicht nur die obere, sondern auch die untere Seite der Oberfläche spiegelt, und zwar die letzte lebhafter, als die erste, besonders, wenn man sehr schräge gegen dieselben sieht.

4) Endlich geht bei jeder Brechung mit dem Lichte noch eine merkwürdige Veränderung vor, die wir hier bloß erwähnen, im folgenden aber genauer erörtern müssen. Der Lichtstrahl bleibt nach der Brechung eigentlich nicht mehr eine einzige gerade Linie, sondern breitet sich in eine kleine Winkelfläche aus, die in jedem Punkt ihrer Breite eine andere Farbe wahrnehmen läßt. Da indessen bei einer einzigen Brechung, und in der Nähe der brechenden Fläche, diese Ausbreitung nur gering ist, so werden wir in diesem Capitel darauf nicht Rücksicht nehmen, sondern den gebrochnen Strahl als eine einzige gerade Linie vorstellen.

5) Dichtere Körper brechen das Licht stärker,

als dünnere. Dessen ungeachtet hängt das Brechungsvermögen nicht bloß von der Dichtigkeit, sondern auch von der chemischen Beschaffenheit der Körper ab. Namentlich hat man bemerkt, daß die brennbaren Körper das Licht stärker brechen, als die nicht brennbaren. Man kennt indessen den Zusammenhang zwischen der Brechungskraft und den übrigen Eigenschaften der Körper noch so unvollständig, daß man das Brechungsvermögen für jede zwei Körper nur durch unmittelbare Versuche finden kann.

6) Die wichtigsten Brechungsverhältnisse sind die zwischen Luft und Glas, und dann zwischen Luft und Wasser. Für Luft und gemeines Glas ist das Verhältniß ungefähr 3 : 2, genauer 17 : 11; für englisches Kronglas 1,55 : 1, für englisches Flintglas 1,58 : 1. Für Luft und Wasser ziemlich genau 4 : 3. Mehrere Brechungsverhältnisse sehe man im Gehler I. 431. Fischer I. 447.

Anm. Sehr merkwürdige Untersuchungen über das Brechungs-Vermögen der Körper haben die Herren Biot und Arago angestellt, und dem gelehrten Publicum in den Mémoires de l'Institut Tom VII. mitgetheilt. Man sehe Gilberts Annalen. B. 25. S. 345 u. f. Desgleichen B. 26. S. 38 u. f.

Allgemeine Erscheinungen, die von der Brechung des Lichts abhängen.

§. 7.

Wenn das Licht von durchsichtigen Körpern weder zurückgeworfen, noch gebrochen würde, so wür-

würden alle vollkommen durchsichtige und farbenlose Körper für uns unsichtbar seyn. Sie sind bloß sichtbar durch das Spiegeln ihrer Oberflächen, und durch die veränderte Richtung, welche das durchgehende Licht durch die Brechung leidet. Auf diese Art kann man selbst zwei farbenlose Flüssigkeiten, welche sich nicht mischen, wenn sie in einem Gefäß beisammen sind, dennoch genau von einander unterscheiden, wie z. B. ein farbenloses fettes Oel und Wasser, oder auch Aether und Wasser rc. Die Luft ist unsichtbar, weil Zurückstrahlung und Brechung bei ihr unmerklich sind.

Wenn sich ein sichtbarer Körper in einem andern durchsichtigen Mittel, als das Auge befindet, so leidet in den meisten Fällen seine scheinbare Lage eine Veränderung durch die Brechung des Lichts.

Es sey A Fig. 71. ein sichtbarer Punkt, auf dem Boden eines mit Wasser gefüllten Gefäßes BAC. Ein Strahl AD, der lothrecht auf die Wasserfläche trifft, geht ungebrochen hindurch; dieß ist aber die einzige Linie, in deren Verlängerung ein Auge den Punkt A in der Richtung sieht, in der er sich wirklich befindet. Der Strahl AE aber, welcher die Wasserfläche unter einem schiefen Winkel trifft, wird in der Luft abwärts von dem Einfallsloth gebrochen, das man durch E ziehen könnte. Er geht also in der Luft fort, als käme er aus dem höher liegenden Punkt a, und hier wird ein Auge,

das sich irgendwo in der Verlängerung des Strahls EF befindet, den Punkt a sehen. Da eben das, was vom Punkt A gesagt worden, von jedem andern Punkt im Boden des Gefäßes gilt, so muß der ganze Boden in die Lage BaC erhöht erscheinen. Wird ein gerader Stab GHA in das Wasser gesteckt, so muß er, so weit er im Wasser liegt, aufwärts gebrochen erscheinen, weil jeder Punkt desselben höher erscheint, als er wirklich liegt.

Wäre das Auge in A und sähe einen in der Linie EF befindlichen Gegenstand, so würde es ihn nicht in der wahren Richtung, sondern in der Verlängerung der Linie AE erblicken. Wir befinden uns am Boden unsers Luftmeers in einer ähnlichen Lage gegen die Gestirne, und die Astronomen haben längst wahrgenommen, daß jeder Stern, der nicht im Scheitelpunkt steht, entfernter vom Horizont erscheint, als er wirklich steht, welches man die astronomische Strahlenbrechung nennt.

Anm. Der Weg eines Lichtstrahls der von einem Gestirn durch die Atmosphäre geht, ist eigentlich, wegen der stätig zunehmenden Dichtigkeit der Luft, nicht eine gerade, sondern stätig gekrümmte Linie, und die convexe Seite derselben ist aufwärts gekehrt, worüber die nähern Bestimmungen der Astronomie angehören. Nur in den untersten Schichten des Luftkreises, finden wegen der stäts darin verschiedenen Veränderungen, mannigfaltige, zum Theil umgekehrte und überhaupt sehr unregelmäßige Brechungen statt, woraus allerlei sonderbare Erscheinungen, besonders die sogenannte Luftspiegelung, entstehn. Hierüber haben

wir neuerlich ein vortreffliches Werk erhalten: Récherches sur les Réfractions extraordinaires qui ont lieu près de l'horizon, par M. Biot. à Paris 1810 (268 S. in 4.). Ueber die Luftspiegelung sehe man auch Gilbert. Bd. 34. S. 132. Eine vollständigere Erörterung dieses Gegenstandes gehört mehr in die phys. Erdbeschreibung, als in die mechanische Naturlehre.

Besondere Erscheinungen durch geschliffene Gläser.

§. 8.

Die Erscheinungen durch geschliffene Gläser sind zu merkwürdig, als daß wir sie übergehen dürften. Es sind aber zwei Arten von Gläsern, die wir hier durchgehen müssen: 1) Spiegelgläser mit ebenen parallelen Flächen; 2) Gläser, deren Oberflächen sphärisch gekrümmt sind. Von Gläsern mit ebenen Flächen, die aber gegen einander geneigt sind, d. h. von Glasprismen, werden wir im folgenden Capitel reden.

Plangläser mit parallelen Flächen.

§. 9.

Es sey ABCD Fig. 72. der Durchschnitt eines solchen Glases, und EF ein Lichtstrahl, der auf seine Vorderfläche fällt. Errichtet man in F das Einfallsloth GH, so wird der Strahl im Glase näher zum Loth gebrochen. Seine Richtung sey nun FI. Man errichte in I ein zweites Einfallsloth KL, welches dem ersten parallel seyn wird, so

wird der Strahl beim Ausgang in die Luft von dem Loth wieder abwärts in die Lage IM gebrochen. Man sieht aber sehr leicht ein, daß IM mit EF parallel seyn wird. Denn da die beiden Winkel im Glase HFI und FIK gleich sind, so müssen auch die Winkel in der Luft EFG und LIM gleich seyn.

Durch die Brechung in solchen Gläsern bleiben also alle ausfahrende Strahlen, den einfallenden parallel. Daher muß man alle Gegenstände durch ein solches Glas gerade so sehen, als ob kein Glas da wäre. Nur wenn man sehr schräge durch ein solches Glas hindurch sieht, werden die Gegenstände ein klein wenig aus ihrer Stelle gerückt, aber ohne alle weitere Veränderung ihrer Größe und gegenseitigen Lage. In jedem andern Fall, wird die Lage des Strahls so wenig verändert, daß man ihn als ungebrochen ansehn kann.

Sphärische oder Linsengläser.

§. 10.

Alle Arten von Vergrößerungsgläsern und Fernröhren, sind für den Naturforscher unentbehrliche Werkzeuge. Sie bestehen sämmtlich aus Gläsern, von denen eine oder beide Oberflächen sphärisch gekrümmt sind. Um die Wirkung der zusammengesetzten optischen Werkzeuge begreifen zu können, muß man daher nothwendig die Eigenschaften der einzelnen Gläser kennen, woraus sie zusammengesetzt sind.

§. 11.

Obgleich die Gestalt der sphärischen Gläser viel mannigfaltiger ist, als die Gestalt der Spiegel, so lassen sie sich doch, in Ansehung ihrer wesentlichsten Eigenschaften, unter zwei Rubriken bringen. Sammelgläser, die in der Mitte dicker sind, als am Rande, und Zerstreuungsgläser, die in der Mitte dünner sind, als am Rande. Bei jeder dieser beiden Rubriken finden aber drei Unterabtheilungen statt:

1) Die Sammelgläser sind:

a, entweder doppelt convex oder erhaben. Fig. 73. zeigt ein solches Glas im Durchschnitt. Seine Gestalt ist Linsenförmig, daher man nicht nur diese Art, sondern alle sphärische Gläser, besonders die kleinern, auch Linsengläser, oder Linsen zu nennen pflegt;

b, oder plan-convex, wie Fig. 74.

c, oder concav-convex, wie Fig. 75. Das Wort convex muß nachgesetzt werden, weil die Convexität stärker ist, als die Concavität. Gläser dieser Art, nennt man wegen der Figur ihres Durchschnitts auch Menisken (Möndgen).

2) Die Zerstreuungsgläser sind:

a, entweder doppelt concav oder vertieft, wie Fig. 76.

b, oder plan-concav, wie Fig. 77.

c, oder convex-concav, wie Fig. 78. Auch diese Gläser, bei denen das Wort concav nachgesetzt werden muß, pflegt man wohl Menisken zu nennen.

§. 12.

In Ansehung aller dieser Gläser ist im Allgemeinen folgendes zu bemerken:

1) Man giebt ihrer gekrümmten Oberfläche keine andere als kugelförmige Krümmung, aus demselben Grund, wie bei den Spiegeln. XLI. 3.

Anm. Die Krümmung der Krystall-Linse ist nicht sphärisch, aber sie ist auch nicht nach einem Kegelschnitt gekrümmt. Wäre aber auch die wahre Beschaffenheit ihrer Krümmung bekannt, so könnte diese wenig helfen: denn die ungleiche Dichtigkeit der Theile, aus welchen die Krystall-Linse besteht, würde alle Nachahmungen zum optischen Gebrauch unmöglich machen.

2) Die Halbmesser der Kugeln, von welchen die Fläche Segmente sind, nennt man die Halbmesser dieser Flächen.

3) Will man deutliche Bilder erhalten, so müssen die Flächen der Gläser, wie bei Spiegeln, nie sehr große Segmente der Kugel seyn. Als Gränze kann man annehmen, daß die Sehne des Segments höchstens dem halben Halbmesser gleich seyn dürfe.

4) In der Mitte eines jeden solchen Glases giebt es eine Stelle C (Fig. 73 — 78.), wo die beiden Glasflächen einander parallel sind. Diese

Stelle heißt das optische Centrum des Glases. Eine Linie DE, welche hier senkrecht durch beide Flächen geht, heißt die Achse des Glases. In ihr liegen die geometrischen Mittelpunkte der beiden Flächen, d. h. die Mittelpunkte der Kugeln F und G, von welchen die Flächen Segmente sind.

Wenn die Stelle des optischen Mittelpunkts, und der Durchgang der Achse, genau in der Mitte von dem äussern Umfang des Glases liegen, so heißt das Glas richtig centrirt. Dies ist eine Eigenschaft, die keinem guten Glase fehlen darf. Die gleiche Dicke seines äusseren Umfanges, ist zwar ein richtiges, aber doch nicht sehr genaues Kennzeichen dieser Eigenschaft. Das sicherste Kennzeichen ist, daß, wenn man Gläser in einem genau passenden kreisförmigen Lager umdreht, die Gegenstände, welche man durch dasselbe betrachtet, nicht im mindesten ihre scheinbare Lage verändern müssen.

5) Bei dem Gebrauche wird ein Theil des Randes allezeit mit einem kreisförmigen Ring bedeckt, und man nennt den Durchmesser seiner Oeffnung, die Oeffnung oder Apertur des Glases.

6) Die Vorderfläche des Glases nennt man allezeit diejenige, welche dem betrachteten Gegenstand, die Hinterfläche, welche dem Auge zugekehrt ist.

7) Alle Sammelgläser bringen im Wesentlichen einerlei Erscheinungen hervor; eben so alle

Zerstreuungsgläser. In besondern Fällen, können besondere Arten einen Vorzug haben, der sich aber ohne mathematische Kenntnisse, weder bestimmen, noch auch nur deutlich einsehen läßt. Im Allgemeinen haben die doppelt convexen und doppelt concaven, besonders wenn sie gleichseitig geschliffen sind, den Vorzug, weil sie verhältnißmäßig die größte Apertur vertragen.

8) Das gemeine, etwas grünliche Spiegelglas, ist zu Folge der Erfahrung, das beste, zu allen Arten von optischen Gläsern. Das ganz farbenlose Krystallglas, und namentlich das englische Flintglas, wird nur zu ganz bestimmten Zwecken gebraucht.

Erscheinungen durch Sammelgläser.

§. 13.

Wenn man ein Sammelglas gegen die Sonne hält, und das durchgehende Licht mit einer weißen Fläche auffängt, so wird dasselbe, je weiter man die Fläche entfernt, in einen desto kleinern Raum gesammelt, woher der Name Sammelgläser. Es giebt eine Stelle, wo das Licht den kleinsten Raum einnimmt, und dann weiter abwärts wieder auseinander geht.

Diese Stelle heißt der Brennpunkt, und sein Abstand von der Hinterfläche, die Brennweite des Glases.

Kehrt man das Glas um, so zeigt sich die-

selbe Erscheinung. Es hat also ein Sammelglas zwei Brennpunkte, und diese stehen gleich weit von beiden Flächen ab. Nur bei sehr ungleichseitigen Gläsern, besonders bei Menisken, ist eine kleine aber kaum merkliche Verschiedenheit in diesen Entfernungen.

§. 14.

Hat man ein Sammelglas von beträchtlicher Breite, (einige Zoll, bis zwei oder drei Fuß), dessen Brennweite in Vergleichung mit der Breite oder Oeffnung des Glases nicht zu groß ist, (sie kann der Breite gleich seyn, oder muß doch nicht gar zu viel größer seyn); so hat man ein Brennglas, dessen Wirkungen um so besser sind, je breiter das Glas, und je kleiner der Brennraum ist, in welchem das Licht gesammelt wird. Ist die Brennweite zu groß, so wird der Brennraum auch groß, und eben deswegen unwirksam. Man pflegt dann wohl in einiger Entfernung ein zweites Sammelglas (ein Collectivglas) aufzustellen, welches das Licht in einem engern Raum zusammendrängt.

Die Wirkungen der Brenngläser geben den Wirkungen der Brennspiegel (XLI. 7.) nichts nach. Eine nähere Nachricht von den damit anzustellenden Versuchen, sehe man in den phys. Wörterbüchern, unter den Artikeln Brenngläser und Brennspiegel nach.

§. 15.

Die Brennweite eines doppelt convexen gleichseitigen Glases, ist den Halbmessern seiner beiden Flächen gleich (etwas genauer $\frac{11}{12}$ der Halbmesser). Bei einem plan convexen Glase ist sie dem doppelten Halbmesser gleich, (oder genauer $\frac{11}{6}$ desselben). Wie sie bei ungleichseitigen Gläsern, mit dem Halbmesser der Flächen zusammenhänge, soll in den mathematischen Zusätzen gezeigt werden.

§. 16.

Die übrigen Eigenschaften der Sammelgläser, haben die größte Aehnlichkeit mit den Eigenschaften der Sammelspiegel (XLI. 9.), und lassen sich am besten, wie bei diesen, durch eine Lichtflamme in einem verfinsterten Zimmer bemerklich machen.

1) Stellt man die Lichtflamme nahe vor das Glas, innerhalb der Brennweite, so erblickt ein Auge, das von der hintern Seite hineinsieht, die Flamme vergrößert, aufrecht und entfernter. Größe und Entfernung nehmen zu, wenn das Licht entfernt wird.

2) Stellt man die Flamme in den Brennpunkt, so ist nirgends ein deutliches Bild desselben zu finden, sondern es geht bloß ein heller Lichtschein, der größtentheils aus parallelen Strahlen besteht, hinter dem Glase fort, und kann zur Beleuchtung entfernter Gegenstände gebraucht werden.

3) Rückt man endlich die Flamme bis zu einer gewissen Entfernung ausser der Brennweite, so zeigt sich ein verkehrtes, aber vergrößertes Bild derselben auf der entgegengesetzten Wand. Dieses Bild rückt näher zu dem hintern Brennpunkt des Glases, und wird kleiner, wenn man die Flamme weiter entfernt. Steht die Flamme in der doppelten Brennweite, so befindet sich das Bild in eben der Weite, und ist gerade so groß, wie die Flamme selbst. Rückt man die Flamme weiter ab, so rückt das Bild näher und wird kleiner, und für sehr entfernte Gegenstände fällt es endlich in den Brennpunkt selbst. Uud so ist auch hier der Brennraum des Glases nichts, als ein kleines Bild der Sonne im Brennpunkt. Fängt man diese Bilder nicht mit einer Fläche auf, so erblickt sie ein Auge, das in gehöriger Entfernung und Stellung steht, in der freien Luft schwebend; doch ist die Einbildungskraft aus begreiflichen Ursachen geneigt, sie nicht dahin, wo sie wirklich sind, sondern in das Glas, oder wohl gar auf die andere Seite desselben zu versetzen.

§. 17.

So weit sich die Erklärung dieser Erscheinungen ohne Hülfe der Mathematik geben läßt, ist sie von dem, was über die Erscheinungen der Sammelspiegel XLI. 10 u. 11. gesagt worden, nicht wesentlich verschieden. Es müssen dabei dieselben theoretischen Voraussetzungen gemacht werden, und

dann läßt sich durch eben die leichte Constructionsart in jedem Fall die Erscheinung, welche erfolgen muß, bestimmen. Zum Behuf dieser Construction ist bloß zu merken, daß ein Strahl, der durch den optischen Mittelpunkt C (Fig. 73 — 78.) geht, als ungebrochen durchgehend angesehen werden kann. Für Strahlen, die kleine Winkel mit der Achse machen, ist dieses schon aus der Lage der Glasflächen bei C klar: denn da sie hier parallel sind, so muß ein Lichtstrahl daselbst gerade so, wie in einem Planglas mit parallelen Flächen (§. 9.) gebrochen werden.

Anm. Es hat keine Schwierigkeit von dem optischen Mittelpunkt eines Glases, eine genaue mathematische Erklärung und Theorie zu geben.

Es sey AB (Fig. II.) der Durchschnitt eines doppelt convexen ungleichseitigen Glases, C sey der Mittelpunkt der Vorderfläche ACB, und E der Mittelpunkt der Hinterfläche AFB, also EC des Glases Achse. In dieser nehme man den Punkt G so, daß sich DG : GF = DC : EF verhalte, so ist G der optische Mittelpunkt.

Zum Beweis ziehe man durch G die Linie HI beliebig, nebst HC und EI, so läßt sich erweisen, daß die Dreiecke GHC, GIE ähnlich sind. Denn wenn man in der obigen Proportion die mittleren Glieder verwechselt, so ist DG : DC = GF : EF, also auch DC — DG : DC = EF — GF : EF, d. i. GC : DC = EG : EF, oder GC : HC = EG : EI. Es sind also in den Dreiecken CHG und EIG die Seiten, welche die Winkel bei C und E einschließen, proportional; und da in eben den Dreiecken die stumpfen Winkel HGC und IEG gleich sind, so sind die Dreicke ähnlich.

Nun sey HI ein Theil eines Lichtstrahls. Geht dieser von H gegen I, so ist EI das Einfallsloth bei I, und HIE der Winkel im Glase. Geht der Strahl von I gegen H, so ist HC das Loth und IHC der Winkel im Glase. Aber diese beiden Winkel im Glase, sind wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke gleich. Gehen sie also in die Luft über, so müssen auch die Winkel in der Luft gleich seyn. Nun sind, wegen der Gleichheit der Winkel bei C uud E, die Lothe CH und EI parallel, und da die Strahlen in der Luft mit ihnen gleiche Winkel machen, so sind auch diese Strahlen parallel. Folglich sind alle durch G gehenden Strahlen, als ungebrochen zu betrachten, und G ist also der optische Mittelpunkt.

Es läßt sich aber sowohl durch Zeichnung als Rechnung darthun, daß dieser Punkt bei verschiedenen Gläsern, verschiedene Lagen habe. Der Kürze wegen wählen wir den Weg der Rechnung. Zu dem Ende sey der Halbmesser der Vorderfläche CG = f; der Halbmesser der Hinterfläche EF = g; die Dicke des Glases DF = d und der Abstand des opt. Mittelpunkts von der Vorderfläche DG = x, so haben wir nach der ersten der obigen Proportionen $f : g = x : d - x$, also $f + g : f = d : x$, und $x = \frac{df}{f + g}$:, durch welche Formel in allen Fällen die Lage des optischen Mittelpunkts bestimmt werden kann.

Ist das Glas gleichseitig, also $g = f$, so ist $x = \frac{1}{2}d$ oder der opt. Mittelpunkt liegt in der Mitte zwischen D und F. Sind die Flächen ungleich, so liegt er näher bei der gekrümmten. Ist die Vorderfläche eben, so ist $f = \infty$, dann verschwindet g gegen f, und es ist $x = d$, d. h. der optische Mittelpunkt liegt in F. Wäre die Hinterfläche eben, so verschwindet f im Nenner, und es ist $x = \frac{df}{g} = 0$, d. h.

der optische Mittelpunkt liegt in D. Ist die eine Fläche convex die andere concav, so verwandelt sich im Nenner die Summe der Halbmesser in ihre Differenz, und diese ist, weil der Unterschied von f und g nie sehr groß ist, kleiner als f oder g, und daher x > d. In diesem Fall liegt der opt. Mittelpunkt ausser dem Glase, und wenn x positiv ist, hinter F, wenn es negativ ist, vor D.

Da die Dicke des Glases immer gegen den Halbmesser klein ist, so setzt man sie in den optischen Elementar-Rechnungen = 0, d. h. man betrachtet den Durchschnitt des Glases, als eine bloße auf der Achse lothrechte Linie. Dann liegt der opt. Mittelpunkt immer da, wo das Glas die Achse schneidet.

§. 18.

Nach diesen vorläufigen Erinnerungen, werden die Figuren 79 — 81., wenig Erläuterung bedürfen. AB ist der Durchschnitt eines Sammelglases, C der optische Mittelpunkt, DE die Achse, D der vordere Brennpunkt, E der hintere, FHG der strahlende Gegenstand.

a) In der 79sten Fig. steht der Gegenstand innerhalb der vordern Brennweite DC. Von seinem äussersten Punkt F geht ein Strahl FA parallel mit der Achse auf das Glas, und wird nach dem hintern Brennpunkt E gebrochen. Ein zweiter Strahl FCI geht ungebrochen durch das optische Centrum. Die Strahlen AE und CI divergiren nach dem Durchgang, und wenn man sie rückwärts verlängert, so schneiden sich ihre Richtungen in f. Hier ist also der Punkt, aus welchem alle von F kommenden Strahlen, nach dem Durchgang durchs

Glas zu kommen scheinen. Ein Auge, welches hinter dem Glase steht, wird also in f das Bild des Punktes F erblicken, und statt des ganzen Gegenstandes FG, wird das Auge das Bild fg sehen (§. 16. n. 1).

b) In der 80sten Fig. steht der Gegenstand FG im vorderen Brennpunkt D. Der parallele Strahl FA wird nach E gebrochen, und der Strahl FCI geht ungebrochen durch. Da aber CE und FA gleich und parallel sind (weil CE = CD = FA), so ist CFAE ein Parallelogramm, und die Strahlen AE, CI sind also, nebst allen übrigen aus F kommenden Strahlen, nach dem Durchgang durchs Glas parallel, d. h. es entsteht gar kein Bild, oder was auf Eins hinausläuft, das Bild von FG liegt in unendlicher Entfernung vor oder hinter dem Glase (§. 16. n. 2).

c) In der 81sten Fig. steht der Gegenstand FG ausser der vordern Brennweite DC. Der parallele Strahl FA wird nach E gebrochen; der Strahl FCf geht ungebrochen durch. FE und Cf convergiren nach dem Durchgang, und durchschneiden sich verlängert in f. In diesem Punkt werden also alle aus F kommenden Strahlen gesammelt, und es entsteht ein wirkliches verkehrtes Bild fg des Gegenstandes hinter dem Glase (§. 16. n. 1).

Es kann nicht schwierig seyn, nach dem Muster dieser Zeichnungen noch die besondern Unterabtheilungen des dritten Falls zu construiren, wenn

der Gegenstand gerade in der doppelten Brennweite, oder wenn er in noch größerer Entfernung vor dem Glase steht.

§. 19.

Von einem einzelnen Sammelglas kann schon ein mannigfaltiger nützlicher Gebrauch gemacht werden.

1) Die Wirkung der Brillen und Lesegläser erklärt sich aus §. 79. Sie sind vortreffliche Hülfsmittel gegen den gewöhnlichen Fehler des Alters, die zu große Weitsichtigkeit, wenn der Punkt des deutlichen Sehens so weit hinausrückt, daß man nicht wohl bei dem Arbeiten mit den Händen bis dahin reichen kann. Das Glas bewirkt, daß man die Arbeit nahe halten, und doch das Bild derselben in der zur Deutlichkeit erforderlichen Weite sehen kann. Die erforderliche Brennweite der Brille hängt von zwei Dingen ab, a) von der Weite des deutlichen Sehens, und b) von der Entfernung, in der man sich gewöhnt hat, die Arbeit zu halten. Daher erfordert fast jedes Auge eine andere Brennweite. Conservations-Brillen haben sehr lange Brennweiten, von 16 bis 20 Zollen; mit diesen muß man anfangen, und nur langsam zu kürzern Brennweiten übergehen, wenn man das Gesicht möglichst erhalten will.

Wir müssen hier ein für allemal eine sehr wichtige Bemerkung über den Gebrauch einzelner Gläser und zusammengesetzter optischer Instrumente ma-

machen. Das Auge befindet sich beim Sehen durch Gläser fast allezeit in einer gewissen unnatürlichen innern Spannung, deren Folgen für dieses kostbare Organ sehr nachtheilig werden können. Wir haben oben (XL. 10 u. 11.) gezeigt, daß das Auge die Entfernung der Gegenstände nicht empfindet, sondern daß wir sie nur beurtheilen. Sieht das Auge durch Gläser, so entgehen ihm fast alle Hülfsmittel zur richtigen Beurtheilung der Entfernung und Größe der gesehenen Bilder (XL. 8-14.), und gewöhnlich versetzt die Einbildungskraft das Bild in eine falsche Entfernung. Für diese falsche Entfernung ordnet sich das Innere des Auges (XL. 3.), und bei diesem Widerspruch zwischen der von der Einbildungskraft angenommenen, und der wirklichen Entfernung, aus der die gebrochnen Strahlen kommen, muß nothwendig ein gewisser unnatürlicher Zustand des Auges beim Sehen entspringen. In dieser Bemerkung liegt die Erklärung von vielen sonderbaren Erscheinungen, die bei dem Gebrauch der Gläser vorkommen, besonders warum manche gesunde Augen durch Gläser nichts deutlich sehen.

§. 20.

2) Die Wirkungen der einfachen Vergrößerungsgläser, beruhen auf denselben Gründen. Man kann sich aus Betrachtung der 79sten Figur, leicht überzeugen, daß das Bild fg größer und entfernter wird, wenn die Brennweite abnimmt;

daß also ein Glas desto mehr vergrößere, je kleiner seine Brennweite ist. Vergrößerungsgläser, deren Brennweite über einen halben Zoll, bis zu einigen Zollen beträgt, nennt man Loupen; ist die Brennweite unter einem halben Zoll, so nennt man sie einfache Mikroskope, oder mikroskopische Linsen.

Eine ganz einfache Betrachtung der 79sten Figur lehrt, daß der Gegenstand FG sehr nahe bei dem Brennpunkt D stehen müsse, wenn das Bild fg sechzehnmal weiter oder noch mehr vom Glase entfernt seyn soll. Bei dem Gebrauch eines Mikroskops muß daher der Gegenstand fast im Brennpunkte selbst stehen: denn sein Bild muß in der Weite des deutlichen Sehens, also im Durchschnitt 8 Zoll vor dem Glase seyn (XL. 3). Durch diese Betrachtung erhält man ein leichtes Mittel die Vergrößerung eines Mikroskops zu schätzen. Denn wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke FHC, fhC verhält sich der Gegenstand FH zum Bilde fh, wie der Abstand des Gegenstandes HC zum Abstand des Bildes hC. Beim Gebrauch eines Mikroskops ist HC nur unmerklich kleiner, als die Brennweite, und hC ist im Durchschnitt 8 Zoll. Wie sich also die Brennweite zu 8 Zoll verhält, so verhält sich 1 zu der Vergrößerungszahl.

§. 21.

Es ist aber in Ansehung der Vergrößerung noch zweierlei zu merken — 1) da die Weite des

deutlichen Sehens fast bei jedem Auge anders ist, und überdieß, nach der Bemerkung des vorigen §. in der Beurtheilung der Entfernung eines gesehenen Bildes viele optische Täuschungen vorfallen, so sieht fast jedes Auge den Gegenstand unter einer andern Vergrößerung, und die obige Regel giebt daher nur eine ungefähre, für ein gesundes Auge von 8 zölliger Entfernung des deutlichen Sehens berechnete, Schätzung. — 2) Die Vergrößerungszahl, welche die obige Regel giebt, zeigt nur die Vergrößerung des Durchmessers eines Gegenstandes an. Will man die Vergrößerung der gesehenen Fläche wissen, so muß man von jener Zahl die Quadratzahl machen. Will man die Vergrößerung des ganzen Körpers, nach Länge, Breite und Dicke haben, so muß man die Vergrößerungszahl zur Cubikzahl erhöhen. Ein Mikroskop, das 0,1 Zoll Brennweite hat, vergrößert:

den Durchmesser	80 mal,
die Fläche	6400 —
den Körper	512000 —.

Die letzte Zahl klingt vornehmer; daher mag es kommen, daß es allgemein gewöhnlich ist, die Vergrößerungskraft der Mikroskope nach körperlichem Raum anzugeben; es geht aber hier dem vornehmen Air, wie fast überall: sieht man durch ein Mikroskop, das eine halbe Million mal vergrößert, so findet man nur eine 80 malige Vergrößerung des

Durchmessers. Bei Ferngläsern ist man überall bei der bescheidenern Angabe der Vergrößerung nach dem Durchmesser geblieben.

Die äusseren Vorrichtungen des einfachen Mikroskops sind von unendlich mannigfaltiger Art. Man s. den Art. Mikroskop in den phys. Wörterbüchern.

§. 22.

3) Die Wirkung des Sonnen-Mikroskops beruht auf der Fig. 81. erklärten Erscheinung. Rückt man den Gegenstand FG näher zum Brennpunkt D, so übersieht man sehr leicht, daß sich das Bild fg entfernt, und größer wird; und es giebt im Allgemeinen keinen Grad der Vergrößerung, den das Bild nicht erreichen könnte. Bringt man daher ein kleines Linsenglas in dem Fensterladen eines verfinsterten Zimmers an, und befestigt ein klein wenig ausser der Brennweite DC einen kleinen Gegenstand verkehrt, so entsteht in einer gewissen Entfernung hinter dem Glase ein vergrößertes und aufrechtstehendes Bild desselben, welches man auf einer recht glatten und weißen Tafel auffangen kann. Man sieht aber leicht ein, daß das Licht dieses Bildes äusserst matt seyn würde, und zwar um desto mehr, je vergrößerter dasselbe ist, wenn man nicht für die allerstärkste Erleuchtung des Gegenstandes die nur möglich ist sorgen wollte. Es ist nicht hinreichend den Gegenstand durch das einfache Sonnenlicht zu erleuch-

ten, sondern man bringt ihn beinahe in den Brennraum eines vor ihm aufgestellten Sammelglases. — Die Größe des Gegenstandes verhält sich hier zur Größe des Bildes, wie CH zu Ch, d. h. (für das Sonnen-Mikroskop), wie die Brennweite des Linsenglases zur Entfernung, in der man das Bild auffängt. Das Sonnenmikroskop hat die Bequemlichkeiten, daß mehrere Personen das Bild auf einmal sehen können, und daß man sehr gut Abzeichnungen danach machen kann; aber es hat nie die Deutlichkeit eines einfachen Mikroskops, und besonders undeutlich werden die Bilder, wenn man sie zu stark vergrößert, d. h. wenn man sie in zu großer Entfernung auffängt. Auch ist das Sonnen-Mikroskop nur zu durchscheinenden Körpern brauchbar, weil der Gegenstand von der Seite des Glases her nicht stark genug beleuchtet werden kann. Doch wird dadurch sein Gebrauch nicht sehr eingeschränkt, weil fast alle Körper in dünnen Blättchen durchscheinend sind.

Die Beschreibung der besondern Einrichtung eines Sonnen-Mikroskops sehe man in den phys. Wörterbüchern.

§. 23.

4) In der Camera obscura werden die Bilder entfernter Gegenstände, die durch ein etwas großes Sammelglas nach Fig. 81. gemacht werden, entweder unmittelbar auf einer weißen Wand, oder auf einer mattgeschliffenen Glasscheibe aufge-

fangen; oder man stellt in einiger Entfernung hinter dem Glase einen Planspiegel, der mit der Achse einen Winkel von 45 Graden macht, und reflectirt dieses Bild, nach oben oder unten, so daß man es auf einer horizontalen Ebene auffangen und betrachten kann. Ueber die mannigfaltigen besondern Einrichtungen sind die phys. Wörterbücher (Art. verfinstertes Zimmer), und andere größere optische Werke nachzusehen. Die Camera obscura giebt sehr angenehme Abbildungen mahlerischer Gegenden. Der Mahler kann sie benutzen, darf aber die Schärfe der Bilder nicht nachahmen, wenn sein Gemälde natürlich bleiben soll.

§. 24.

Wegen ihrer Verwandschaft erwähnen wir hier noch ein Paar aus zwei Sammelgläsern bestehende Werkzeuge.

5) Die Camera clara besteht aus einem viereckigen Kasten, in dessen Vorderseite ein etwas breites Sammelglas eingesetzt ist. Hinter demselben befindet sich im Kasten ein ebener Spiegel, unter einem Winkel von 45 Grad aufgestellt, der das Bild entfernter Gegenstände, das ohne ihn in der Nähe der Hinterwand entstehen würde, in die Nähe des Deckels reflectirt. Hier ist eine Oeffnung, in welcher sich ein zweites Sammelglas befindet, durch welches man dieses Bild wie durch eine Loupe betrachtet. M. s. Gehler IV. 867. Fischer V. 736.

Anm. Wegen Aehnlichkeit der Benennung und des Zwecks, erwähnen wir hier noch die sogenannte Camera lucida, obgleich die Benennung Camera ganz unzweckmäßig, und die Wirkung des Instruments in der Hauptsache katoptrisch ist. Es ist ein artiges Hülfsmittel zur Aufnahme von Aussichten, oder Abzeichnung anderer Gegenstände. Es besteht aus einem kleinen einseitigen Prisma von Glas, dessen Gestalt im Durchschnitt folgende: Man zeichne einen Viertelkreis ABC (Fig. III.), theile den Bogen AB in zwei gleiche Theile AD, DB, und ziehe die Sehnen AD und DB, so ist das geradlinige Viereck CADB der senkrechte Durchschnitt des kleinen gläsernen Prisma. Es muß aber das ganze Instrument viel kleiner seyn, als die Zeichnung. Denn es ist völlig hinreichend, wenn AC ungefähr ½ Zoll, und die Länge des Prisma 1 Zoll beträgt. Die obere, bei dem Gebrauch wagerechte, Fläche AC ist mit einer oben geschwärzten Metallplatte bedeckt, die bloß in der Gegend E (nahe bei A) ein kleines Loch hat. Die beiden Grundflächen ADBC, (die bei dem Gebrauch seitwärts liegen) sind mit messingener Fassung bedeckt. Das Prisma wird an einem sehr einfachen Gestell (Fig. IV.) befestigt. FG ist die Fußplatte, etwa 2 Zoll im Durchmesser, aber durch Bley schwer gemacht, HI ist eine dünne runde Säule 10 bis 12 Zoll hoch. KL ist eine Hülse, um das daran befestigte Prisma MN hoch oder niedrig stellen zu können. In Fig. IV. kehrt das Prisma dem Auge die Seite ADB Fig. III. zu, auf welcher der Beobachter bei dem Gebrauch stehen muß.

Man kann dieses kleine Instrument zur Abzeichnung von Aussichten, oder andern Gegenständen auf folgende Art brauchen. Auf einem Tischchen befestigt man einen Bogen weißes Papier (OP, Fig. IV.), und stellt das Gestell so darauf, daß das Prisma die ebene Seite BC Fig. III. dem Gegenstande zukehrt.

Sieht man dann durch das bei E Fig. III. befindliche kleine Loch gerade von oben hinein, so erblickt man die dem Prisma gegenüber befindlichen Gegenstände, wie ein Gemälde auf dem darüber ausgebreiteten Papier liegend. Wegen Kleinheit der Oeffnung E und des ganzen Instruments kommt nämlich nicht bloß das aus E hervorkommende Licht in die Pupille des Beobachters, sondern auch ein Theil des unmittelbar vom Papier kommenden. Daher sieht der Beobachter beides, die Gegenstände und das Papier; und selbst die Spitze eines Bleistiftes, die man auf dem Papier herumführt, kann man deutlich genug sehen, um die Umrisse der Gegenstände zu zeichnen.

Die Theorie des Instruments ist folgende: Es sey Q (Fig. III.) die Mitte von DB, und die Linie QR mit AC parallel, also wagerecht. In R befindet sich der abzuzeichnende Gegenstand ST. Das Licht was von ihm ins Prisma kommt, geht größtentheils ungebrochen in BC, weil es fast senkrecht auffällt, da der Gegenstand nicht zu nahe seyn darf. Ein Theil dieses Lichts kommt also inwendig auf die Fläche AD, und wird von dieser, weil es ziemlich senkrecht auffällt, so zurückgeworfen, daß nichts in die Oeffnung E kommen kann. Ein anderer Theil fällt auf die Fläche BD. Der Strahl QR trifft diese unter einem Winkel von $22\frac{1}{2}$ Grad, und da ihm alle übrigen fast parallel sind, so treffen sie sämmtlich beinahe unter demselben Winkel auf die Fläche. Daher kann von allem diesen Lichte (nach §. 6.) nichts durch die Fläche hindurchgehen, sondern es wird alles Licht so vollständig zurückgeworfen, als wäre die Fläche BD belegt. Ist U die Mitte von AD, so ist QU, wie leicht einzusehen, der zurückgeworfene Strahl, und wenn man UQ unterwärts nach R' verlängert und QR = QR' macht, so wird ein Auge, was den Strahl QU empfinge, den Gegenstand in der Lage S'T' erblicken. Zieht man endlich UE parallel mit BC, so ist UE

der von AD zurückgeworfene Strahl, und verlängert man diesen bis UR'' = UR', so ist S'' T'' das Bild, was ein bei E befindliches Auge erblickt. Steht also der Beobachter auf der Seite A, so erblickt er den Gegenstand, als horizontal vor ihm auf dem Papier liegend, ohne Verwechselung von rechts und links, und kann ihn daher bequem abzeichnen.

Dieses artige Instrument ist eine Erfindung Wallastou's. Man sehe Gilberts Annalen von 1810. B. 34. S. 353, desgleichen B. 42. S. 338. In Berlin verfertigt der Mechanikus Herr Duve, dieses Instrument, so wie alle optischen Geräthe in vorzüglicher Güte.

6) In der Zauberlaterne stehen zwei breite Sammelgläser nicht weit von einander. Vor dem ersten wird ein auf Glas gemahltes transparentes Bild innerhalb der Brennweite befestigt, und durch eine Lampenflamme, und gegenüber gestellten Erleuchtungsspiegel möglichst stark erleuchtet. Da das Gemälde innerhalb der Brennweite des ersten Glases steht, so gehen die Strahlen nach dem Durchgang durchs Glas so fort, als kämen sie aus einem gleichfalls verkehrten entferntern Bilde, wie fg Fig. 79. Das zweite Glas muß so hinter dem ersten Glase AB stehen, daß dieses Bild ein wenig ausser seiner Brennweite liegt, wo dann die Strahlen in demselben so gebrochen werden, daß sie wie Fig. 81, ein entferntes Bild fg bilden, welches auf der Wand aufgefangen wird. Dieß Bild ist aufrecht, weil der Gegenstand, dessen Abbildung es ist, verkehrt steht. M. s. den Art. Zauberlaterne in den phys. Wörterbüchern.

Anm. Damit die Ausdrücke vor und hinter dem Glase keine Undeutlichkeit verursachen, so bemerken wir ein für allemal, daß in der Optik die vordere Seite eines Glases immer diejenige ist, woher das Licht kommt. Bei der Zauberlaterne ist daher die innere Seite des Glases die vordere, und die äussere die hintere.

7) Man macht auch zusammengesetzte Loupen aus zwei Sammelgläsern. Der Gegenstand wird nahe vor das erste Glas gehalten, und die Strahlen werden in demselben gebrochen, als kämen sie aus dem entferntern Bilde gf Fig. 79. Dicht hinter diesem Glase, muß ein zweites Sammelglas so stehen, daß seine vordere Brennweite noch ein wenig über das Bild fg hinausreicht. Durch dieses zweite Glas betrachtet man im Grunde dieses Bild gerade so, wie man mit der einfachen Loupe einen wirklichen Gegenstand betrachtet.

8) Unter der Benennung optischer oder perspectivischer Kasten, versteht man allerlei Vorrichtungen, große perspectivische Zeichnungen durch ein breites Glas von 1½ bis 2 Fuß Brennweite zu betrachten. Die gut beleuchtete Zeichnung muß innerhalb der Brennweite, aber nicht weit vom Brennpunkt aufgestellt seyn; hierdurch entsteht ein entferntes vergrößertes, und in der That undeutlicheres Bild, dessen Anblick sich aber eben deswegen der wirklichen Natur mehr nähert.

§. 25.

Aus allem bisherigen ersieht man, daß die

Brennweite eines Sammelglases das erste ist, was man wissen muß, wenn man über seine Wirkungen urtheilen will. Man kann sie auf ähnliche Art wie bei Spiegeln finden (XLI. 14).

Man hält das Glas gegen die Sonne, oder den Mond, und mißt wie weit das im Brennpunkt entstehende Bild vom Glase entfernt ist.

Oder man bedeckt das Glas mit einer Papierscheibe, worin zwei kleine Löcher, und sucht die Stelle, wo die durchgehenden Strahlen sich vereinigen.

Bei sehr großen und sehr kleinen Brennweiten, erfordert die Ausführung eigene Kunstgriffe. M. vergl. Klügels analyt. Dioptrik (Leipzig 1778). S. 109. u. f.

Erscheinungen durch Zerstreuungsgläser.

§. 26.

Die Erscheinungen durch diese Gläser, sind denen durch Zerstreuungsspiegel (XLI. 12. 13.) völlig analog.

Richtet man ein solches Glas gegen die Sonne, und fängt das durchgehende Licht mit einer weißen Fläche auf, so sieht man, daß das Licht auseinander geht, als käme es aus einem Pnnkt vor dem Glase. Man nennt diesen Punkt den negativen Brennpunkt, und seinen Abstand von der Vorderfläche, die negative Brennweite des Glases. Kehrt man das Glas um, so bleibt

die Erscheinung eben so. Ein Zerstreuungsglas hat also zwei negative Brennpunkte.

Fällt das Licht anderer Gegenstände auf das Glas, so geht dasselbe nach der Brechung so fort, als käme es aus einem nähern, kleinern und aufrecht stehenden Bilde des Gegenstandes. Die Entfernung des Gegenstandes macht weiter keine Veränderung in dieser Erscheinung, als daß sich auch das Bild ein wenig vom Glase entfernt, wenn der Gegenstand weiter fortrückt. Aber die äusserste Gränze, welche das Bild erreichen kann, ist der vordere Brennpunkt, wo die Gegenstände erscheinen, wenn sie sich in großer Entfernung befinden.

§. 27.

Es sey AB Fig. 82. ein Zerstreuungsglas, HD seine Achse, E und D seine beiden negativen Brennpunkte. In H stehe der Gegenstand FG; so läßt sich die Erscheinung, welche das Glas hervorbringt, nach eben der Methode, die wir bei Spiegeln und Sammelgläsern angewendet haben, bestimmen. Aus dem höchsten Punkt F ziehe man den Strahl FA parallel mit der Achse; dieser wird in der Richtung AK gebrochen, und zwar so, als käme er aus dem Brennpunkt E. Ein zweiter Strahl FCL geht ungebrochen durch den optischen Mittelpunkt. Die Strahlen AK und CL divergiren also nach dem Durchgang, als ob sie aus dem Punkt f kämen. Hier ist also der Vereinigungspunkt, aus welchem nach der Brechung, alle von F ausgehende

Strahlen zu kommen scheinen. Zieht man also fg senkrecht auf die Achse, so zeigt diese Linie die Größe und den Stand des Bildes, welches man durch das Glas sieht.

§. 28.

Der Gebrauch eines einzelnen Zerstreuungsglases, schränkt sich bloß auf die einfache, oder brillenartig gefaßte doppelte Lorgnette ein. Sie bringt einem kurzsichtigen Auge die entfernten Gegenstände in die Weite des deutlichen Sehens, so wie die Brille einem weitsichtigen Auge, die zu nahen Gegenstände in die Weite des deutlichen Sehens hinausrückt.

Von Lorgnetten gilt die oben am Ende des 19ten §. gemachte Erinnerung ganz besonders. Die Einbildungskraft kann es, wenn man z. B. durch ein Zerstreuungsglas von 10 Zoll Brennweite sieht, nie über sich erhalten, die ganze Ausdehnung einer weiten Gegend, die man ansieht, in dem Raum einer Halbkugel von 10 Zoll Halbmesser zusammengedrnägt, sich vorzustellen; und doch befinden sich in der That alle Bilder, die man sieht, in diesem Raum. Die Einbildungskraft rückt sie also alle viel zu weit hinaus, und das Auge befindet sich jederzeit in einer unnatürlichen Spannung. Auch bei Lorgnetten thut man daher wohl, mit den längsten Brennweiten anzufangen, und nur sehr langsam zu kürzern fortzuschreiten.

Mathematische Zusätze.

§. 29.

Das Wesentlichste von der Theorie aller sphärischen Gläser, wenigstens, so viel zu deutlicher Einsicht aller bisher erörterten Erscheinungen erforderlich ist, läßt sich auf zwei Sätze zurückführen, von denen der eine die Brechung eines Strahls betrifft, der aus einem Punkt in der Achse kommt; der andere, die Brechung eines Strahls, der aus einem nahen Punkt ausser der Achse kommt.

Den Sinn der ersten Aufgabe wird Fig. 83. deutlich machen. Es sey ACB die obere Hälfte von dem Durchschnitt eines Sammelglases. In D liege der geometrische Mittelpunkt der Vorderfläche AC; in E der geometrische Mittelpunkt der Hinterfläche. Wir setzen also voraus, daß die Ebene des Durchschnitts durch diese beiden Punkte gehe. Eine Linie FI durch D und E gezogen, muß auf beiden Glasflächen bei A und B senkrecht stehen, also die Achse des Glases seyn. Aus dem Punkt F der Achse falle der Strahl FG auf das Glas; zieht man nun durch G und D das Einfallsloth KGD, so ergiebt sich aus dem Grundgesetz der Dioptrik §. 3., daß der gebrochene Strahl GH in der Ebene der Zeichnung bleibe, und mit dem Loth GD im Glase einen kleinern Winkel im Glase als in der Luft machen werde. Zieht man ferner durch den Punkt H, wo er die Hinterfläche trifft, das Einfallsloth EHL, so muß der Strahl nach dem Ausgang aus dem Glase noch immer in der Ebene der Zeichnung bleiben, aber sich vom Loth abwärts neigen. Seine Richtung muß also irgendwo die Achse schneiden. Dieß geschehe in I.

Die Aufgabe ist nun: wenn die Halbmesser der Flächen, die Lage der Mittelpunkte, und die Lage der Punkte F und G gegeben sind, die Lage des Punktes I zu finden. Soll diese Aufgabe in aller Strenge aufgelöst werden, so führt sie zu schwierigen und verwickelten Rechnungen. Dagegen ist es leicht, sie näherungsweise, aber für die Anwendung völlig hinreichend aufzulösen. Dieß geschieht am zweckmäßigsten vermittelst einer Gleichung zwischen den beiden Halbmessern, DA und EB, den beiden Vereinigungsweiten AF und BI, und dem als bekannt vorausgesetzten Brechungsverhältniß.

Die Befugniß von der Strenge nachzulassen, liegt darin, daß deutliche Bilder durchaus wenig gekrümmte Bogen erfordern. Daher sind in der Anwendung die spitzigen Winkel bei D und E jederzeit klein. Aber eben deswegen sind auch die spitzigen Winkel bei F, I, G und H klein, und die Bogen GA, HB dürfen als gerade auf der Achse senkrechte Linien, und weil die Dicke des Glases jederzeit gering ist, als gleiche Linien, angesehen werden.

§. 30.

Aufgabe. Es sey unter den im vorigen §. gemachten Voraussetzungen AD = f; EB = g; AF = a; BI = α; das Brechungsverhältniß aus Luft in Glas n : 1; es soll eine Näherungsgleichung zwischen f, g, a, α und n gefunden werden.

Auflösung. Weil die Winkel KGF, HGD, GHE, LHI klein sind, so dürfen wir das Brechungsverhältniß ihnen selbst beilegen (§. 5). Es verhält sich also:

$$KGF : HGD = n : 1$$
$$LHI : GHE = n : 1$$

folglich auch

$$KGF + LHI : HGD + GHE = n : 1$$

Nun ist aber, nach einem bekannten geometrischen Satz, wenn wir die spitzigen Winkel bei F, E, D und I, bloß mit den eben genannten vier Buchstaben bezeichnen

$$KGF = F + D;\ LHI = E + I$$

also $KGF + LHI = F + E + D + I$.

Ferner ist, nach eben dem Satze $HGD + GHE = GME$, und $GME = E + D$; also auch

$$HGD + GHE = E + D$$

Setzt man diese Werthe in die obige Proportion, so erhält man

$$F + E + D + I : E + D = n : 1$$

Oder wenn man schließt: wie die Differenz des ersten und zweiten Gliedes zum zweiten, so die Differenz des dritten und vierten, zum vierten.

$$F + I : E + D = n - 1 : 1$$

woraus die Gleichung folgt

$$(n - 1)\,E + (n - 1)\,D = F + I.$$

Nun ist aber nach einem in der Katoptrik (XLI. 18.) angeführten trigonometrischen Satz, (so fern man GA und HB, als senkrechte gerade Linien ansehen darf),

$$E \text{ proportional mit } \frac{BH}{EB} = \frac{BH}{g}$$

$$D \text{ — — — } \frac{AG}{AD} = \frac{AG}{f}$$

$$F \text{ — — — } \frac{AG}{AF} = \frac{AG}{a}$$

$$I \text{ — — — } \frac{BH}{BI} = \frac{BH}{\alpha}$$

Setzt man diese Werthe in die obige Gleichung, so erhält man

$$\frac{(n - 1)\,BH}{g} + \frac{(n - 1)\,AG}{f} = \frac{AG}{a} + \frac{BH}{\alpha}.$$

We-

Wegen der geringen Dicke des Glases liegen aber die Punkte G und H sehr nahe beisammen, und da überdieß die Linien FG, GH, HI lauter kleine Winkel mit der Achse machen, so ist man befugt, AG = BH zu setzen. Man könnte also statt beider einen einzigen Buchstaben, z. B. x setzen, und dann die ganze Gleichung durch dieses x dividiren, so ist klar, daß es gänzlich herausfällt. Wir behalten also übrig:

$$\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$$

welches die verlangte Näherungsgleichung ist.

§. 31.

Zusätze. 1) Von den fünf Größen n, f, g, a, α kann jede als die gesuchte betrachtet werden; welches zu fünf Aufgaben führt, von denen sich mehr als eine wichtige Anwendung machen läßt.

2) Die Formel ist ferner für alle Arten von Gläsern, und für alle Lagen der Punkte F und I in der Achse brauchbar; wenn man nur in jedem besondern Falle darauf Rücksicht nimmt, ob die Stücke, die man als gegeben ansieht, es mögen Halbmesser oder Vereinigungsweiten seyn, eben so liegen, wie in unserer Figur, oder eine entgegengesetzte Lage haben. Wäre z. B. das Glas doppelt concav, so müßte f und g negativ gesetzt werden. Wäre die Vorderfläche plan, und die Hinterfläche concav, so müßten f = ∞ gesetzt werden, wodurch $\frac{n-1}{f} = 0$ wird; und g müßte negativ gesetzt werden. Käme der Strahl FG nicht aus einem Punkt der Achse vor dem Glase, sondern wäre gegen einen Punkt der Achse hinter dem Glase gerichtet, so müßte man a negativ setzen. Wäre der Strahl FG der Achse parallel, so ist a = ∞, und

$\frac{1}{a} = 0$; u. dgl. m. Die Folgerungen, welche wir aus unserer Formel ziehen werden, gelten folglich für alle sphärischen Gläser, und für alle bei denselben in der Anwendung vorkommende Fälle.

3) Da AG und BH gänzlich aus der Gleichung ausgefallen sind, so ist dies ein Beweis, daß alle aus F auf das Glas fallende Strahlen in dem einzigen Punkt l vereinigt werden, daß folglich hier ein Bild von F entsteht. Es kann aber in besondern Fällen dies Bild von F vor dem Glase liegen, wenn die Formel einen negativen Werth von α giebt; es kann in unendlicher Entfernung liegen, wenn $\frac{1}{\alpha} = 0$, d. i. $\alpha = \infty$ gefunden wird.

Da aber unsere Gleichung nur näherungsweise richtig ist, so ist es auch diese Folgerung. Das aus F auf das Glas fallende Licht, sammelt sich nicht in einem geometrischen Punkt I, sondern in einem kleinen Raum, der aber unserm Auge, als ein bloßer Punkt erscheint, wenn die Flächen des Glases nicht zu stark gekrümmt sind.

4) Verbindet man Zusatz 2 und 3, so ergiebt sich: daß bei jeder Art sphärischer Gläser ein strahlender Punkt, der in der Achse irgendwo liegt, durch die Brechung wieder irgendwo in der Achse eine Abbildunng erhält, die aber bald vor, bald hinter dem Glase, bald in unendlicher Entfernung liegen kann: welches eine von den Voraussetzungen war, die bei unserer Constructionsmethode zum Grunde lagen.

5) Es sey α die gesuchte Größe, und $a = \infty$, d. h. der einfallende Strahl sey der Achse parallel, so ist $\frac{1}{a} = 0$, also $\frac{1}{\alpha} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g}$.

Durch diese Formel wird die Weite bestimmt, in welcher sich Strahlen, die der Achse parallel sind, nach geschehener Brechung in der Achse durchschneiden.

Diese Weite heißt aber die Brennweite des Glases, und wenn wir diese p nennen, so erhalten wir

$$\frac{1}{p} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g}$$

eine Hauptformel der Dioptrik, durch welche man in jedem Falle die Brennweite eines Glases, aus den Halbmessern seiner Flächen, und aus dem Brechungsverhältniß finden kann. Auch können durch sie mehrere andere Aufgaben aufgelöst werden, indem von den vier Größen p, n, f, g, wenn drei gegeben sind, allezeit die vierte gefunden werden kann.

Es sey das Glas ein doppelt convexes gleichseitiges Glas, so ist $f = g$; also $\frac{1}{p} = \frac{2(n-1)}{f}$ oder $p = \frac{f}{2(n-1)}$. Das Brechungsverhältniß sey 17 : 11 (§. 6.), so ist $n = \frac{17}{11}$; $n - 1 = \frac{6}{11}$; $2(n-1) = \frac{12}{11}$ also $p = \frac{11}{12}$ f, oder beinahe $= f$ (§. 15).

Ist das Glas doppelt concav und gleichseitig, so erhält man auf eben die Art $p = -\frac{11}{12} f$.

Ist das Glas plan convex, so ist ein Halbmesser z. B. g unendlich, also $\frac{n-1}{g} = 0$, und $\frac{1}{p} = \frac{n-1}{f}$ oder $p = \frac{f}{n-1}$. Ist nun wie

oben $n - 1 = \frac{6}{11}$, so hat man $p = \frac{11}{6} f$ oder beinahe 2 f (§. 15).

Für ein plan concaves Glas findet man eben so $p = - \frac{11}{6} f$.

Wer mit dem Gebrauch von Formeln nicht unbekannt ist, sieht leicht, wie in jedem andern bestimmten Falle die Rechnung zu machen sey. Um die bequemste Form der Rechnung bemerklich zu machen, mag folgendes Beispiel dienen. Das Glas sey ein Meniskus, und die Vorderfläche vertieft; es sey $f = - 10$; $g = + 5$; $n - 1 = \frac{6}{11}$, so ist $\frac{1}{p} = (n - 1)\left(\frac{1}{f} + \frac{1}{g}\right) = \frac{6}{11}\left(- \frac{1}{10} + \frac{1}{5}\right) = + \frac{6}{11} \cdot \frac{1}{10} = + \frac{3}{55}$; also $p = + \frac{55}{3} = + 18\frac{1}{3}$.

6) Da allgemein $\frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$, nach der vorigen Nummer aber die erste Seite dieser Gleichung $= \frac{1}{p}$ ist, so muß auch das zweite Glied allgemein $= \frac{1}{p}$ seyn. Wir erhalten also auch

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha},$$

dieselbe Formel, welche wir in der Katoptrik (XLI. 18.) zur Vergleichung der Brennweite eines Spiegels mit den beiden Vereinigungsweiten gefunden haben; welches eben so, wie dort die Grundformel fast zu allen optischen Berechnungen ist.

§. 32.

Es ist noch die Brechung des Lichts, welches von einem außer der Achse befindlichen Punkte kommt, zu untersuchen. Es läßt sich durch Theorie und Versuche zeigen, daß nur solche strahlende Punkte, die nahe bei der Achse liegen, deutliche Bilder geben, es ist daher hinreichend, unsere Aufmerksamkeit auf diese zu beschränken.

Die Linie AB Fig. 84. stelle den Durchschnitt irgend eines Glases vor, dessen optischer Mittelpunkt C, und dessen Achse DE ist. In F sey ein strahlender Punkt, von welchem ein Strahl FG, der aufs Glas fällt, nach der Richtung GH gebrochen wird. Zieht man aus F durch das optische Centrum C die Linie FCH, so wird der gebrochne Strahl diese Linie irgendwo, z. B. in H durchschneiden. Es ist zu zeigen, in welcher Abhängigkeit CF und CH von einander stehen.

§. 33.

Lehrsatz. Es heiße des Glases Brennweite p, und der strahlende Punkt liege sehr nahe bei der Achse, so ist (wie §. 31. 5).

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{CF} + \frac{1}{CH}$$

Beweis. Man verlängere HG nach I, und GF bis zur Achse in D. Bezeichnet man nun die spitzigen Winkel, bei D, K, F und H, mit diesen eben genannten Buchstaben, so hat man

$$F + H = D + K$$

weil jede dieser beiden Summen = IGF. Da nun aber F nahe bei der Achse liegt, so ist der Winkel GFC sehr klein, und GC steht beinahe senkrecht auf FC. Man darf demnach ohne große Fehler annehmen, daß

$$F \text{ proportional mit } \frac{CG}{FC}$$

$$H \text{ — — — } \frac{CG}{CH}$$

$$D \text{ — — — } \frac{GC}{CD}$$

$$K \text{ — — — } \frac{GC}{CK}$$

bringt man diesen Werth in die obige Gleichung, so erhält man

$$\frac{CG}{FC} + \frac{CG}{CH} = \frac{CG}{CD} + \frac{GC}{CK}$$

In dieser Gleichung hebt sich CG, und wir behalten also

$$\frac{1}{FC} + \frac{1}{CH} = \frac{1}{CD} + \frac{1}{CK}$$

stellt man sich vor, der Lichtstrahl käme nicht aus F sondern aus D, welches in der Lage des gebrochenen Strahls keine Aenderung machen kann, so ist nach §. 31. n. 5.

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{DC} + \frac{1}{CK}$$

folglich ist auch

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{CF} + \frac{1}{CH}$$

welches die zu erweisende Formel ist.

§. 34.

Zusätze. Man sieht leicht, daß alle Schlüsse, die wir §. 31. über einem strahlenden Punkt in der Achse gemacht haben, auch auf den strahlenden Punkt außer der Achse angewendet werden können. Dahin gehört namentlich:

1) Daß jeder strahlende Punkt F ausser der Achse durch die Brechung seines Lichts ein Bild H

erhalte; und daß dieses Bild allezeit in der geraden Linie liege, die man vom strahlenden Punkt durch den optischen Mittelpunkt ziehen kann.

2) Fällt man aus F und H die Linien FL, HM senkrecht auf die Achse, so kann man, weil F und H sehr nahe bei der Achse liegen, ohne erheblichen Fehler CF = CL, und CH = CM setzen; wodurch sich die Formel des vorigen §. in

$$\frac{1}{p} = \frac{1}{CL} + \frac{1}{CM}$$

verwandelt. Hieraus folgt aber: daß wenn FL ein strahlender Gegenstand ist, jeder Punkt seine Abbildung in HM haben werde, und daß das Bild jedes einzelnen Punktes in der geraden Linie liege, die man von ihm durch C ziehen kann: und dies war die andere Voraussetzung, die bei unserer Constructionsmethode gemacht wurde, so daß sich also alles, was wir ohne Beweis angenommen haben, mit hinreichender Schärfe erweisen läßt.

Dreiundvierzigstes Capitel.

Von den wichtigsten zusammengesetzten optischen Werkzeugen, die aus einerlei Glasart bestehn.

A. Von den Fernröhren überhaupt.

§. 1.

Sphärische Gläser können auf sehr mannigfaltige Art so verbunden werden, daß man entfernte Gegenstände dadurch näher und größer erblickt. Eine solche Zusammensetzung heißt ein Fernrohr oder Teleskop, und zwar, wenn es

bloß aus Gläsern besteht, ein dioptrisches, wenn sphärische Spiegel dabei gebraucht werden, ein katoptrisches. Das Glas oder der Spiegel, der das Licht unmittelbar vom Object empfängt, heißt Objectivglas, Objectivspiegel. Die übrigen heißen Ocularglåser, oder Augenglåser, und werden von der Seite des Objectivglases her gegen das Auge gezählt; erstes, zweites Ocular rc.

§. 2.

Wenn die Wirkung eines Fernrohrs oder andern zusammengesetzten Instruments möglichst vollkommen seyn soll: so muß jedes Glas richtig centrirt seyn; die Achsen aller Gläser müssen eine einzige gerade Linie machen; jedes Glas muß eine genau bestimmte Brennweite, und besonders eine richtig proportionirte Oeffnung haben; zwischen den Gläsern werden an bestimmten Stellen ringförmige Scheiben, mit kreisförmigen Oeffnungen aufgestellt, die man Blendung nennt; weder die Stelle noch der Durchmesser der Blendung ist willkührlich; endlich müssen alle Gläser in vorgeschriebenen Entfernungen aufgestellt, und selbst dem Auge seine Stelle genau bestimmt werdeu; man macht entweder bloß das letzte Ocular beweglich, oder schließt noch gewöhnlicher die sämmtlichen Oculare in eine Röhre ein, um ihre Entfernung vom Objectiv dem Bedürfniß des Auges gemäß stellen zu können.

§. 3.

Durch ein Fernrohr erblickt man jeden ent-

fernten Gegenstand unter einem viel größern Winkel, als mit bloßem Auge. Die Zahl, welche anzeigt, wie viel mal dieser Winkel vergrößert sey, heißt die Vergrößerungszahl.

Der Raum den man übersicht, ist kreisförmig, und heißt das Gesichtsfeld. Das Maaß desselben ist der Winkel, unter welchem das bloße Auge ohne Fernrohr den Raum sehen würde, den man im Fernrohr übersehen kann.

Die Stärke des Lichts mit welcher man die Gegenstände sieht, heißt die Helligkeit, und die Schärfe, mit der sich jeder sichtbare Punkt zeigt, die Deutlichkeit des Fernrohrs.

Alle diese Dinge sind einer mathematischen Bestimmung empfänglich, deren Theorie aber dem Studium der angewandten Mathematik vorbehalten bleiben muß. Alles, was in der Naturlehre gefordert werden kann, beschränkt sich darauf, die Wirkungen der Fernröhre aus den Eigenschaften der sphärischen Gläser und Spiegel begreiflich zu machen.

§. 4.

Allgemein ist über die Zusammensetzung mehrerer Gläser noch folgendes zu bemerken.

Wir haben im vorigen Capitel gezeigt, daß jedes sphärische Glas ein Bild des Gegenstandes, von dem es Strahlen empfängt, hervorbringt, daß aber dieses Bild bald vor, bald hinter dem Glase, bald auch in unendlicher Entfernung liegen kann.

Stellt man nun hinter dem ersten Glase ein zweites so auf, daß ihre Achsen zusammenfallen, so vertritt das durch das erste Glas gemachte Bild für das zweite Glas die Stelle eines Objects. Es wird folglich das zweite Glas ein zweites Bild von dem Gegenstand hervorbringen, das aber wieder vor, oder hinter diesem Glase oder in unendlicher Entfernung liegen kann. Das durchs zweite Glas hervorgebrachte Bild, vertritt wieder die Stelle eines Objects für ein drittes Glas, u. s. f. Kurz man sieht leicht, daß wieviel Gläser auch hinter einander auf einer gemeinschaftlichen Achse, und in welchen Entfernungen sie auch aufgestellt seyn mögen; so wird allezeit jedes Glas ein eigenes Bild des Gegenstandes hervorbringen.

Einige dieser Bilder kommen zur Wirklichkeit, indem die Strahlen, die zu einem bestimmten Punkt des Objekts gehören, wirklich in einem Punkt zusammenschießen (wie bei den Bildern eines Sammelglases in der Camera obscura), diese nennt man wirkliche oder physische Bilder. Andere existiren nicht wirklich, indem entweder das Licht nur so fortgeht, als käme es aus einem solchen Bilde, (wie das Bild, welches man durch eine Loupe oder Lorgnhette sieht), oder indem die Strahlen, welche ein Bild hervorbringen wollen, durch ein neues Glas aufgefangen werden, ehe das Bild zur Wirklichkeit kommt; diese heißen geometrische Bilder.

Man kann schon hieraus im Allgemeinen beurtheilen, was für eine Bewandniß es mit der Wirkung eines Fernrohrs habe. Befindet sich nämlich das Auge in der gehörigen Stelle hinter dem letzten Ocular, so ist das, was es sieht, nicht der Gegenstand selbst, sondern das dem letzten Glase zugehörige Bild. Dieses muß folglich vor dem letzten Glase (Anm. zu §. 24. Nr. 6.), und zwar vom Auge in der Weite des deutlichsten Sehens (C. 40. §. 3.) stehen. Was die Größe des Bildes betrifft, so kann es an sich sehr klein seyn, besonders in Vergleichung mit dem Gegenstand selbst; aber es muß dem Auge unter einem größern Sehwinkel (C. 40. §. 8.) erscheinen, als der Gegenstand selbst ohne Fernrohr. Die Helligkeit und Deutlichkeit des Bildes sind wesentliche Erfordernisse, hängen aber von genau entgegengesetzten Bedingungen ab. Denn die Helligkeit nimmt zu, wenn man alle Oeffnungen der Gläser vergrößert, die Deutlichkeit, wenn man sie verkleinert. Da aber ein an sich scharfes Bild undeutlich wird, wenn es zu wenig Licht hat, so begreift man, daß die gesammten Oeffnungen eine sehr bestimmte Größe haben müssen, um die möglichst beste Wirkung zu erhalten. Die Theorie hiervon gehört aber, wie überhaupt die ganze Anordnung eines Fernrohrs, zu den höhern optischen Rechnungen. Was diese Untersuchungen noch verwickelter macht, ist der Umstand, daß auch die Größe des

Gesichtsfeldes, von der Oeffnung (zwar nicht des Objectivglases, aber wohl) der sämmtlichen Ocularen abhängig ist. Es gehört aber ein möglichst großes Gesichtsfeld zu den wichtigsten Vorzügen eines Fernrohrs. Denn sieht man von einem Gegenstand (z. B. vom Monde) bloß ein Stück, so ist es schwer zu einer deutlichen und anschaulichen Vorstellung von dem Verhältniß aller Theile zum Ganzen zu gelangen.

Für die Beobachtung himmlischer Gegenstände darf das Bild des letzten Oculars verkehrt seyn; bei der Betrachtung irdischer Gegenstände muß es aufrecht stehen. Astronomische und Erdfernröhre erfordern daher eine verschiedene Anordnung der Oculare. Man verbindet indessen gewöhnlich beide, bei einem und demselben Objectivglas, indem man mehr als eine Ocularröhre hat.

Da fast jedes Auge eine etwas andere Weite des deutlichsten Sehens hat, so erfordert jedes Auge eine etwas andere Stellung der Oculare. Zu dem Ende schließt man gewöhnlich alle Oculare in eine einzige Röhre, und trifft Vorrichtungen, durch welche dieselbe ganz unmerklich vor- oder rückwärts geschoben werden kann.

Die oben Cap. 42. §. 19. gemachten allgemeinen Bemerkungen, daß sich das Auge beim Sehen durch Gläser gewöhnlich in einer unnatürlichen Spannung befinde, gilt ganz besonders von Fern-

röhren. Denn hier entgehen dem Beobachter fast alle (oben Cap. 40. §. 11. angegebenen) Mittel, ein richtiges Urtheil über die Entfernung des gesehenen Bildes zu fassen. Es geschieht daher nur gar zu leicht, daß die Einbildungskraft dasselbe in eine falsche Entfernung setzt. Für diese ordnet sich dann die Krümmung der durchsichtigen Hornhaut (Cap. 40. §. 3). Es ist aber einleuchtend, daß unter diesen Umständen kein deutlicher Blick entstehen könne, und hierin liegt der Grund, warum oft gesunde Augen mit einem Fernrohr gar nicht fertig werden können. Durch Versuche und öftere Uebung kann man es aber immer dahin bringen, die Entfernung des Bildes richtig zu beurtheilen, und deutlich zu sehen. Man muß daher durch optische Instrumente s e h e n l e r n e n.

Läßt man mehrere ungeübte Personen durch ein Fernrohr sehen, (z. B. nach dem Jupiter), und läßt dann jeden beschreiben, w i e g r o ß er den Gegenstand gesehen habe, so ist es auffallend, wie verschieden sie die Größe angeben. Ein deutlicher Beweis, daß jeder das Bild in eine andere Entfernung setzt: denn da der W i n k e l, unter welchem sie das Bild sehen, bei allen, welche durch dasselbe Fernrohr sehen, gleich ist, so kann eine Verschiedenheit des Urtheils über die eigentliche Größe des Bildes bloß daher rühren, daß sie es in verschiedene Entfernungen setzen. (Vergleiche C. 40. §. 8. u. 13.)

Es kommen aber bei der Zusammenstellung mehrerer Gläser Fälle vor, die im vorigen Capitel, wo das Object immer ein wirklicher Gegenstand war, noch nicht betrachtet worden sind. Ein wirkliches Object nämlich steht allezeit vor dem Glase; (Anm. zu §. 24. Nr. 6.) ein Bild hingegen, was die Stelle eines Objects für ein folgendes Glas vertritt, kann auch hinter diesem Glase liegen. Dieser Fall käme z. B. vor, wenn man in der 81sten Fig. das Bild fg nicht zur Wirklichkeit kommen ließe, sondern das Licht durch ein anderes zwischen AB und fg irgendwo gestelltes Glas auffinge. Man sieht hieraus, in welchem Sinn man sagen könne, das Objekt stehe hinter dem Glase. Dieser Fall führt übrigens auf eine eigene Folge von Erscheinungen, die sich aber durch eben die Constructionsmethode, die wir im vorigen Capitel gebraucht haben, aufklären lassen.

Erscheinungen durch Sammelgläser, wenn das Objekt hinter dem Glase steht.

§. 5.

Wenn das Objekt hinter einem Sammelglase steht, so entsteht allezeit ein kleineres, näher am Glase liegendes, wirkliches Bild, von gleicher Lage mit dem Object.

Es sey FG Fig. 85. das Bild, welches durch

ein auf der Seite D liegendes Glas hervorgebracht werden würde, wenn das Licht nicht durch das Glas AB aufgefangen würde, ehe das Bild zur Wirklichkeit kommen kann. Wir wissen, daß dieses Bild durch zusammenschießende Strahlen entsteht, die sich z. B., um den Punkt F zu bilden, alle in diesem Punkte durchkreuzen. Unter diesen zusammenlaufenden Strahlen kann zuerst einer LC seyn, welcher durch den optischen Mittelpunkt C, also ungebrochen in der Richtung CF hindurch geht. Zweitens kann sich nnter diesen Strahlen einer KA befinden, der mit der Achse parallel geht. Dieser wird nach dem Brennpunkt E gebrochen. Die Strahlen CF und AE durchschneiden sich in dem Punkt f; und hier müssen sich alle Strahlen vereinigen, die ohne das Glas AB sich in F vereinigt haben würden, d. h. in f entsteht ein Bild von F, und wenn man daher fgh, wie immer senkrecht durch die Achse zieht, so ist fg das Bild von FG. Man sieht übrigens leicht ein, daß es eben nicht nöthig ist, daß die beiden Strahlen KA und LC wirklich vorhanden sind. Die Strahlen, welche einen Punkt F bilden sollen, liegen immer innerhalb eines kleinen Winkels, und es könnte wohl seyn, daß sich innerhalb dieses Winkels weder ein der Achse paralleler, noch ein durch das optische Centrum gehender befände. Aber wenn alle nach F gehende Strahlen einen einzigen Vereinigungspunkt f haben, so ist es einerlei, ob die Strahlen, durch

welche wir die Lage von f aufsuchen, wirklich vorhanden sind, oder nicht.

Aus Betrachtung der Figur ergiebt sich übrigens leicht, daß die Erscheinung immer im wesentlichen die nämliche bleiben wird, das Object FG stehe wo es wolle hinter dem Glase: nämlich immer, zwischen dem Glase und dem Brennpunkt, ein verkleinertes Bild, welches aufrecht oder verkehrt ist, je nachdem das Object FG aufrecht oder verkehrt steht. Bloß die Größe und Entfernung dieses Bildes ändert sich, wenn sich die Entfernung des Objects ändert.

Hierauf gründet sich die schon erwähnte Wirkung eines Collectivglases, hinter dem Brennglase (XLII. 14).

Erscheinungen durch Zerstreuungsgläser, wenn das Object hinter dem Glase steht.

§. 6.

Die Erscheinungen, welche in diesem Fall ein Zerstreuungsglas zeigt, sind mannigfaltiger, doch werden sie sich nach dem bisher vorgetragenen leicht übersehen lassen.

a) Fig. 86. stellt den Fall vor, wenn das Bild FG, welches die Stelle des Objekts vertritt, innerhalb der hintern Brennweite CE steht. Die beiden Strahlen KA und LC, welche ohne das Glas sich in F schneiden würden, haben nach dem Durchgang durch das Glas die convergirenden Rich-

Richtungen Af und Cf. Es entsteht also ein grösseres und entfernteres Bild fg hinter dem Glase, welches mit FG gleiche Lage hat.

b) Fig. 87. stellt den Fall vor, wenn das Bild FG im hintern Brennpunkt E selbst steht. Hier haben die beiden Strahlen KA und LC, welche sich ohne das Glas in F schneiden würden, nach dem Durchgang die parallelen Richtungen AM und CF, so daß also nirgends, oder, wenn man will, in unendlicher Entfernung ein Bild entsteht.

c) Fig. 88. stellt endlich den Fall vor, wenn das Bild FG seine Stelle ausser der hintern Brennweite CE hat. In diesem Fall, haben die beiden auf F zugehenden Strahlen KA und LC, nach dem Durchgang, die divergirenden Richtungen AM und CF. Werden diese vor dem Glase, so weit als nöthig verlängert, so schneiden sich ihre Richtungen unter der Achse in f. Die Strahlen gehen also nach dem Durchgang durch das Glas so fort, als kämen sie aus einem Bilde fg, welches vor der vordern Brennweite liegt, und gegen FG verglichen eine verkehrte Lage hat. Die Größe und Entfernung desselben kann aber sehr verschieden seyn, je nachdem FG näher bei E, oder entfernter liegt: liegt FG nahe bei E, so ist fg entfernt und groß. Ist EH = CE, so sind beide Bilder gleich groß und gleich entfernt; liegt aber FG entfernter, so ist fg kleiner, und näher bei dem Brennpunkt D.

B. Die merkwürdigsten Arten von gemeinen Fernröhren.

§. 7.

Das erste Instrument dieser Art wurde im Anfang des 17ten Jahrhunderts zweimal erfunden. Einmal durch Zufall von einem Brillenmacher in Middelburg, wahrscheinlich Jansen, und das zweitemal von dem berühmten Galilài durch Theorie und Nachdenken. M. s. Gehler II. 176 u. f. Fischer II. 400 u. f. Man nennt daher diese Art das holländische oder galiläische Fernrohr. Das Objectivglas ist, wie bei allen Arten von Fernröhren, ein Sammelglas, das Ocular ein Zerstreuungsglas von kürzerer Brennweite. Das letzte wird so gestellt, daß das verkehrte Bild entfernter Gegenstände, welches das Objectivglas macht, noch hinter der hintern Brennweite des Oculars liegt; also wie §. 6. c. Fig. 88. Ein Auge dicht hinter AB wird also statt FG, das Bild fg sehen. Da aber FG in unserm Fall verkehrt ist, so ist fg aufrecht. Das Fernrohr vergrößert den scheinbaren Durchmesser so vielmal, als die Brennweite des Oculars, in der Brennweite des Objectivs enthalten ist. Zu starken Vergrößerungen ist es unbrauchbar, weil das Gesichtsfeld zu klein wird; daher braucht man es gegenwärtig bloß als Taschenperspectiv.

§. 8.

In Kepplers Sternrohr wird das ver-

kehrte Bild, welches das Objectivglas macht, durch ein Sammelglas von kleiner Brennweite gerade so betrachtet, wie man ein wirkliches Objekt durch eine Loupe betrachtet (XLII. 18. a. Fig. 79). Da eine Loupe die Gegenstände nicht umkehrt, so sieht man durch dieses auch jetzt noch brauchbare Fernrohr die Gegenstände verkehrt, welches für astronomische Beobachtungen gleichgültig ist. Die Vergrößerung findet man wie bei dem galiläischen Fernrohr. Für starke Vergrößerungen muß es eine unbequeme Länge erhalten.

§. 9.

Man kann das Gesichtsfeld eines Sternrohrs sehr beträchtlich vergrößern, wenn man das Bild des Objectivglases nicht zur Wirklichkeit kommen läßt, sondern das Licht durch ein etwas breites Collectivglas früher auffängt. Dann entsteht nach §. 5. Fig. 85. ein kleines Bild hinter diesem Glase, welches durch das letzte Ocular, wie durch eine Loupe betrachtet wird. Man verliert bei dieser Einrichtung an Vergrößerung nichts. Denn das Bild verträgt in eben dem Verhältniß, in welchem es kleiner geworden ist, eine stärkere Vergrößerung.

Fernröhre von dieser Einrichtung, die wenig vergrößern, aber ein großes Gesichtsfeld und viel Licht haben, nennt man Aufsucher.

§. 10.

Schon in dem ersten Viertel des 17ten Jahr-

hunderts, erfand ein Jesuit, P. Rheita, das Erdfernrohr, wo mit dem Objectivglas drei Sammelgläser von einer kleinern aber gleichen Brennweite verbunden werden. Die drei Oculare schließt man gewöhnlich in eine einzige Röhre so ein, daß der hintere Brennpunkt eines jeden mit dem vordern des nächstfolgenden Glases zusammenfällt. Beim Gebrauch wird die Ocularröhre so weit in das Rohr hineingeschoben, daß das Bild des Objectivglases ein klein wenig innerhalb der vordern Brennweite des ersten (vom Auge entferntesten) Oculars zu stehen kommt. Bei dieser Stellung würde ein Auge, das hinter dem ersten Ocular stünde, ein ziemlich entferntes, aber vergrößertes und verkehrtes Bild des Gegenstandes sehen (XLII. 18. a. Fig. 79). Dieses verkehrte Bild liegt also weit vor der Brennweite des zweiten Oculars, und macht daher hinter dem hintern Brennpunkt dieses Glases ein aufrechtes Bild des Gegenstandes (XLII. 18. b. Fig. 80). Da dieses Bild innerhalb der vordern Brennweite des dritten Oculars liegt, so wird es durch dasselbe, wie durch eine Loupe betrachtet (XLII. 18. a. Fig. 79). Die Vergrößerung wird bei diesem Fernrohr wie bei den beiden vorhergehenden gefunden, wenn man die Brennweite des Objectivglases durch die Brennweite eines der Ocularglâser dividirt. Für starke Vergrößerungen muß es aber ebenfalls eine unschickliche Länge erhalten.

§. 11.

Man kann durch ungleiche Brennweiten der Oculare, desgleichen durch Hinzufügung eines vierten Oculars auf mehr als eine Art ein größeres Gesichtsfeld ohne Nachtheil der Deutlichkeit und Vergrößerung erhalten; aber die hier zu beobachtenden Gränzen erlauben uns nicht, diese Einrichtungen näher zu beschreiben, besonders da diese Art Fernröhre durch die Erfindung der achromatischen Fernröhre viel von ihrem ehemaligen Werth verlohren haben.

§. 12.

Dieß sind die verschiedenen Arten von Fernröhren, durch deren Erfindung sich das 17te Jahrhundert auszeichnete. Newtons Spiegel-Teleskop, so wie die achromatischen Fernröhre bleiben dem 45sten Capitel vorbehalten.

§. 13.

Wenn die Brennweiten der Gläser, ihre Entfernungen, und ihre Oeffnungen bei einem Fernrohr gegeben sind, so läßt sich daraus durch Rechnung die Vergrößerung, das Gesichtsfeld, und selbst der Grad der Helligkeit und Deutlichkeit finden. Aber diese Methode greift zu tief in das Gebiet der höhern mathematischen Optik ein, als daß wir uns hier darauf einlassen könnten. Da es indessen für den Besitzer eines Fernrohrs interessant ist, die Vergrößerung und das Gesichtsfeld seines Fernrohrs zu kennen, so wollen

wir noch kürzlich zeigen, wie beides mechanisch gefunden werden könne.

§. 14.

Ungefähr schätzen läßt sich die Vergrößerung, wenn man nach einem und demselben Gegenstande mit dem einen Auge, durch das Fernrohr, mit dem andern unmittelbar sieht, und die scheinbare Größe beider Bilder nach dem Augenmaaß vergleicht.

Sehr genau läßt sie sich durch ein eigenes kleines Instrument von Ramsdens Erfindung finden. Von diesem Instrument, das man im Deutschen sehr gut einen Vergrößerungsmesser nennen kann, findet man unter dem Namen Dynamometer eine Beschreibung in Bode'ns astr. Jahrbuch 1795. S. 225 u. f. vergl. mit dem 1sten Supplementband. S. 134 u. f. Die Idee des Instruments ist kürzlich folgende. Wenn man irgend ein Fernrohr (nur nicht ein Galiläisches) gegen den freien Himmel gerichtet befestigt, und dann ein Blatt dünnes Papier hinter das letzte Ocular hält, an der Stelle, wo beim Gebrauch das Auge steht, so erblickt man, wenn das Papier seine rechte Stelle hat, (die sich durch Probiren leicht findet), einen hellen, scharf begränzten Lichtkreis. Man messe den Durchmesser desselben aufs genauste, ferner messe man die Oeffnung des Objectivglases (es versteht sich, beides nach einerlei Maaß), und dividire mit jenem Durchmesser in diese Oeffnung, so findet man, wieviel das In-

strument vergrößert. Statt des Papiers nimmt Ramsden eine dünne Scheibe von Horn, zeichnet darauf eine sehr feine Eintheilung, und befestigt die Scheibe in einer Röhre, die man an das Fernrohr stecken kann, und durch ein vergrößerndes Ocular um so den Durchmesser des Lichtkreises eben so bequem, als genau messen zu können.

Die Theorie dieses sinnreichen Instrumentes läßt sich hier nicht vortragen. Wir bemerken bloß, daß der gedachte Lichtkreis ein Bild des Objectivglases selbst ist, von welchem sich erweisen läßt, daß es gerade so vielmal kleiner im Durchmesser ist, als das Fernrohr entfernte Gegenstände vergrößert. Man kann daher, und zwar mit Vortheil für Licht und Deutlichkeit, das Objectivglas herausnehmen, und statt desselben bloß eine scharf begränzte Blendung bei dem Versuch einsetzen.

§. 15.

Das Gesichtsfeld eines Fernrohrs läßt sich schätzen, wenn man seinen Durchmesser mit dem anderweitig bekannten scheinbaren Durchmesser eines Gegenstandes vergleicht, den man durch das Rohr betrachtet. Der Durchmesser der Sonne oder des Mondes schickt sich dazu besonders gut. Sie sind beide mit geringer Veränderung gleich, nämlich ungefähr einen halben Grad oder dreißig Minuten.

Genau kann man das Gesichtsfeld finden, wenn man auf einer Sterncharte einen kenntli-

chen Fixstern aufsucht, der im Aequator, oder sehr nahe dabei steht. Man befestigt das Fernrohr in der Richtung gegen diesen Stern, läßt ihn mitten über das Feld des Fernrohrs durchgehen, und zählt, wie viel Secunden Zeit während dieses Durchgangs verstreichen. Vier Zeitsecunden betragen allezeit eine Minute Winkel für das Gesichtsfeld.

C. Das zusammengesetzte Mikroskop.

§. 16.

Das zusammengesetzte Mikroskop wurde bald nach der Erfindung der Fernröhre bekannt. Aber sein Erfinder ist eben so ungewiß. M. s. Gehler III. 215 u. f. Fischer III. 579 u. f.

In Ansehung der Vergrößerung hat das zusammengesetzte Mikroskop vor dem einfachen keinen Vorzug; aber es hat mehr Gesichtsfeld, mehr Licht, und verstattet eine bequemere Manipulation der kleinen Objecte, die man betrachtet.

Man kann es aus zwei, drei und mehr Gläsern zusammensetzen. Das Objectivglas ist allezeit eine kleine mikroskopische Sammellinse, deren Brennweite man nicht über einen halben Zoll nimmt. Gewöhnlich hat man solcher Linsen mehrere, von stufenweise abnehmenden Brennweiten, weil auch hier wie bei einfachen Mikroskopen die Vergrößerung desto stärker wird, je kleiner die Brennweite der Objectivlinse ist.

Das Object bekommt seine Stelle kurz vor dem vordern Brennpunkt der Objectivlinse. Folglich entsteht in einer größern Entfernung hinter der Linse ein verkehrtes und vergrößertes Bild des Objects (nach XLII. 18. c. Fig. 81). Dieses Bild kann man durch ein ein- oder zweizölliges Sammelglas wie durch eine Loupe betrachten (XLII. 18. a. Fig. 79). Dies ist die Konstruktion des Mikroskops aus zwei Gläsern.

Vorzüglicher aber ist die Zusammensetzung aus dreien. Man läßt das Bild, welches die Objectivlinse, wie vorher, machen würde, nicht zur Wirklichkeit kommen, sondern fängt es mit einem etwa dreizölligen etwas breiten Glase vor seiner Entstehung auf, so daß nun nach §. 5. dieses Cap. (Fig. 85.) ein kleineres Bild des Objects hinter diesem Glase entsteht, welches dann durch das zweite etwa einzöllige Ocular wie durch eine Loupe betrachtet wird.

Mehr Gläser zusammenzusetzen ist nicht rathsam, weil das Licht geschwächt wird, und selbst die Deutlichkeit verliehrt, wenn die Zusammensezzung nicht nach einer sehr richtigen Theorie berechnet ist.

§. 17.

Der äussere Mechanismus der zusammengesetzten Mikroskope wird von verschiedenen Künstlern sehr verschieden gearbeitet. Er ist ein ziemlich wesentliches Stück bei einem guten Mikro-

skop. Das nähere hierüber ist in den physikal. Wörterbüchern und andern größern Werken nachzusehen.

§. 18.

Die Vergrößerung eines zusammengesetzten Mikroskops, nebst Gesichtsfeld ꝛc. läßt sich eben so, wie bei einem Fernrohr, aus den Brennweiten und Entfernungen der Gläser berechnen. Diese theoretische Untersuchung muß aber hier aus denselben Gründen wie bei den Fernröhren übergangen werden (§. 13).

Schätzen läßt sich die Vergrößerung durch folgenden Versuch. Man legt ein kleines Object von genau bekannter Größe unter das Mikroskop, sieht mit dem einen Auge in das Instrument, und mit dem andern nach den Spitzen eines Zirkels, den man in der Weite des deutlichen Sehens vor das andere Auge hält. Man spannt die Spitzen dieses Zirkels so weit auseinander, bis sie um den durch das Mikroskop gesehenen Durchmesser des Objekts von einander entfernt scheinen. Diese Weite mißt man auf einem verjüngten Maaßstab, und dividirt sie durch den nach eben dem Maaßstab gemessenen wahren Durchmesser des Objects.

Auch bei den zusammengesetzten Mikroskopen kann man den oben §. 14. beschriebenen Vergrößerungsmesser zu diesem Zweck anwenden; und zwar vollkommen auf dieselbe Art, wie bei einem Fern-

rohr; nur muß die Zahl, welche der Vergrößerungsmesser giebt, noch mit derjenigen Vergrößerungszahl multiplicirt werden, welche dem Objectiv als einfachem Mikroskop (nach Cap. 42. §. 20.) zukommen würde, d. h. sie muß mit der Weite des deutlichen Sehens (8 Zoll) multiplicirt, und mit der Brennweite der Linse dividirt werden. Es versteht sich, daß die beiden letzten Größen in einerlei Maaß ausgedrückt seyn müssen.

Vierundvierzigstes Capitel.

Die dioptrische Farbenlehre.

Das Glasprisma.

§. 1.

Wir müssen jetzt die mit jeder Brechung verbundenen Erscheinungen der Farbenzerstreuung (XLII. §. 6. n. 4.) genauer untersuchen. Das einfache Werkzeug, durch welches Newton die Gesetze dieser merkwürdigen Erscheinung auf deutliche Begriffe zurückführte, war ein dreiseitiges Prisma von Glas, wovon ABC Fig. 89. einen senkrechten Durchschnitt vorstellt. Gemeiniglich schleift man ein solches Prisma gleichseitig, so daß jeder der drei Winkel BAC, ABC, ACB, sechzig Grade groß wird; doch braucht man zu besondern Zwecken auch ungleichseitige. Gemeiniglich macht

man es fünf bis sechs Zoll lang, um mit beiden Augen zugleich hindurch sehen zu können. Läßt man Licht durch ein solches Prisma gehen, so wird jeder Strahl darin zweimal, z. B. in den Flächen BA und CA gebrochen; dadurch wird die Brechung und die Farbenzerstreuung sehr vergrößert, und man kann das gebrochene Licht in jeder beliebigen Entfernung hinter dem Prisma untersuchen. Den Winkel BAC, welchen diejenigen beiden Flächen BA und CA des Prisma machen, durch welche das Licht geht, nennt man den jedesmaligen brechenden Winkel.

§. 2.

Hält man ein solches Prisma horizontal vor beide Augen, so daß einer der Winkel BAC wie Fig. 89. gerade unterwärts gekehrt ist, und betrachtet dann durch eine der brechenden Flächen z. B. CA die gerade gegenüberliegenden Gegenstände, so sieht man alles viel tiefer, als es wirklich liegt; und zwar werden alle seitwärts liegenden Gegenstände noch stärker als die gerade gegenüberliegenden aus ihrer Stelle gerückt, so daß eine horizontale gerade Linie, wie ein aufwärts gekrümmter Bogen erscheint. Hierbei erscheinen die Ränder aller Gegenstände mit Regenbogenfarben umgeben, aber eben deswegen sehr undeutlich. Diese Erscheinungen nennt Hr. v. Göthe subjective.

§. 3.

Noch merkwürdiger und lehrreicher sind die

Versuche in einem verfinsterten Zimmer. Man lasse durch eine kleine Oeffnung D, (Fig. 89.) in einem Fensterladen einen dünnen Kegel DE von Sonnenstrahlen auf die Fläche BA des Prisma fallen, so wird dieses Licht bei E und F zweimal aufwärts gebrochen, und breitet sich hinter dem Prisma desto mehr aus, je weiter es fortgeht. Wird das gebrochene Licht, von einer recht ebenen und weißen gegenüberstehenden Wand VG aufgefangen, so zeigt sich an der Stelle VR, wo das gebrochne Licht auffällt, die schönste Farbenerscheinung, die man sehen kann. Die Erscheinung ist ein längliches Bild VR, dessen Umriß Fig. 90. so abgebildet ist, wie es sich an der Wand zeigt. Es ist nirgends scharf begränzt, doch sind die beiden Seitenlinien AB und CD ohne Zweideutigkeit, gerade oben und unten aber kann man, so undeutlich auch hier die Gränzen besonders bei V sind, doch eine halbkreisförmige Begränzung nicht verkennen. Das ganze Bild ist ungefähr fünfmal länger, als breit, und zeigt in jedem Punkt seiner Höhe eine andere sehr lebhafte Farbe, und es folgen die Hauptfarben in der Ordnung auf einander, wie es die beigeschriebenen Worte in der Figur andeuten; auch nimmt jede Farbe ungefähr verhältnißmäßig, den in der Figur durch punctirte Linien angedeuteten Raum ein. Indessen ist die Bestimmung des Raums jeder Farbe sehr unsicher, weil sie nur durch unmerkliche Abstufungen in einander

übergehen, so daß eigentlich von V bis R eine unendliche Stufenfolge von Farben liegt, aus der sich nur die angedeuteten sieben am deutlichsten herausheben. Man muß aber das Bild in einer beträchtlichen Entfernung (von wenigstens 12 Fuß) auffangen: denn dicht hinter dem Prisma ist das Bild in der Mitte weiß, und nur oben und unten bunt gefärbt, je weiter aber das Licht fortgeht, desto deutlicher sondern sich die Farben ab, doch verändern sich die Verhältnisse der Räume, welche die Farben einnehmen, mit der Entfernung vom Prisma. Blau und Gelb nehmen ab, Violet, Grün und Roth nehmen mit der Entfernung zu. Newtons Bestimmung dieser Räume gilt nur für Prismen von gemeinem Spiegelglase und für Entfernungen von 10 bis 14 Fuß. Bei Prismen aus andern Glasarten fallen die Räume anders aus. Endlich bemerken wir noch, daß das Roth an dem einen Ende des Bildes, nach einer sehr richtigen Bemerkung des Hrn. v. Göthe, kein reines, sondern ein schon ziemlich stark ins Gelbe gezogenes Roth ist: das reine Roth ist Purpur, oder ein gesättigtes Rosenroth, welches im prismatischen Bilde nicht vorkommt.

Die hier beschriebenen Erscheinungen nennt Hr. v. Göthe objectiv, welchen Ausdruck wir der Kürze wegen beibehalten wollen.

Anm. Man sollte eigentlich nicht sieben, sondern nur sechs Hauptfarben im prismatischen Bilde annehmen:

denn Dunkel- und Hellblau sind offenbar nur Stufen derselben Farben. Daß Newton sieben Farben setzte, geschah im Grunde nur zu Gunsten einer kleinen poetischen Schwärmerei, indem er eine Uebereinstimmung der prismatischen Farben mit den sieben Tönen der Octave zu erkünsteln suchte.

§. 4.

Um die Entstehung dieses Bildes deutlich einzusehen, muß man zuerst die Brechung eines einzelnen Lichtstrahls im Prisma nach dem Grundgesetz der Dioptrik genauer untersuchen.

Es sey BAC Fig. 91. der brechende Winkel eines senkrecht durchschnittenen Prisma. Auf die Vorderfläche AB falle der Strahl DE. Errichtet man in E das Einfallsloth HI, so ist (aus XLII. 3.) klar, daß der Strahl im Glase aufwärts gebrochen werde. Es sey also EF der gebrochene Strahl. In F, wo er die Hinterfläche trifft, errichte man das Loth LK, so sieht man eben so leicht, daß er bei dem Ausgang aus dem Glase nochmals aufwärts gebrochen werde; daher sey FG der ausfahrende Strahl. Verlängert man den einfallenden Strahl DE beliebig bis N, und den ausfahrenden rückwärts, bis er DN in M schneidet, so ist der spitzige Winkel GMN derjenige, um welchen der Strahl DE durch die doppelte Brechung, aus seiner ursprünglichen Richtung aufwärts gelenkt wird. Es läßt sich aber durch geometrische Schlüsse zeigen, daß dieser Winkel, der Strahl DE falle auf, wie er wolle, ein fast un-

veränderliches Verhältniß gegen den brechenden Winkel BAC habe. Ist nämlich das Brechungsverhältniß aus Luft in Glas n : 1, so ist fast unveränderlich

$$GMN = (n - 1) BAC$$

da nun das Brechungsverhältniß für gemeines Glas ungefähr 3 : 2 oder $\frac{3}{2}$: 1 ist (XLII. §. 6. n. 6.), so ist $n = \frac{3}{2}$ also $n - 1 = \frac{1}{2}$ daher $GMN = \frac{1}{2} BAC$; d. h. der Strahl DE wird ungefähr um die Hälfte des brechenden Winkels aus seiner ersten Richtung abgelenkt, und zwar gegen die Seite, gegen welche sich der brechende Winkel öffnet.

Beweis. Die Formel GMN = (n — 1) BAC würde streng richtig seyn, wenn sich die Winkel selbst (nicht ihre Sinus) wie n : 1 verhielten. Unter dieser Voraussetzung wäre nämlich DEH oder

$$LEM : LEF = n : 1$$

also $$MEF : LEF = n - 1 : 1$$

Eben so auf der andern Seite GFK oder

$$LFM : LFE = n : 1$$

also $$MFE : LFE = n - 1 : 1$$

Aus der zweiten und vierten Proportion folgt

$$MEF + MFE : LEF + LFE = n - 1 : 1$$

oder da MEF + MFE = GMN, und LEF + LFE = ILF

$$GMN : ILF = n - 1 : 1$$

Es ist aber ILF dem brechenden Winkel BAC gleich: denn die vier Winkel des Vierecks AELF betragen vier rechte Winkel; da nun LEA und LFA selbst

rechte

rechte Winkel sind, so ist ELF + BAC = zwei rechten Winkeln: eben so groß ist aber auch ELF + ILF, folglich ILF = BAC, und

GMN : BAC = n — 1 : 1

also GMN = (n — 1) BAC.

§. 5.

Wir bemerken hier noch, daß das Prisma das bequemste Mittel an die Hand giebt, das Brechungsverhältniß n : 1 genau zu finden. Denn aus der Formel GMN = (n — 1) BAC folgt

$$n = \frac{GMN}{BAC} + 1$$

Es kommt also bloß darauf an, die beiden Winkel GMN und BAC zu messen, welches keine Schwierigkeit hat. Sollte indessen dieses Verhältniß mit äusserster Genauigkeit gefunden werden, so müßte doch eine strengere Formel für n gebraucht werden, worüber größere Werke nachzusehen sind; z. B. Gehler und Fischer im Art. Prisma, desgleichen Klügels analyt. Dioptrik.

§. 6.

Die einfache und unzweideutige mathematische Erörterung der Brechung eines einzigen Lichtstrahls im Prisma, ist völlig hinreichend, die im 2ten und 3ten §. erwähnten Erscheinungen vollständig zu zergliedern, und auf lauter deutliche Begriffe zurückzuführen. Um aber ordentlich und erschöpfend dabei zu verfahren, müssen wir sowohl die objectiven als subjectiven Erscheinungen einzeln erörtern; und bei beiden wieder die Betrachtung

der Farben und der äußern Form der Erscheinung von einander absondern. Wir machen den Anfang mit den §. 3. beschriebenen objectiven Erscheinungen.

§. 7.

Nimmt man das Prisma BAC Fig. 89. weg, und läßt das Licht, welches durch die kleine Oeffnung D fällt, geradeaus auf die gegenüberliegende Wand fallen, so zeigt sich bei GH nichts, als ein rundes und weißes undeutliches Sonnenbild (XXXIX. 13). Wäre nun alles Licht in gleichem Grade brechbar, so würde die ganze Wirkung des Prisma darin bestehen, daß dieses Bild mit unveränderter Farbe, und kaum merklich veränderter Gestalt und Größe, oben in der Gegend VR erscheinen würde. Die langgedehnte Gestalt des Bildes VR beweiset also unwidersprechlich,

daß das gebrochene Licht FVR ungleiche Brechbarkeit habe,

indem der bei V auffallende Theil weit stärker, als der bei R auffallende aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt ist. Da aber dieses Bild in jedem Punkt eine andere Farbe zeigt, so folgt,

daß das weiße Sonnenlicht durch die Brechung in Strahlen von ungleicher Farbe zersetzt werde, und daß das Licht von jeder Farbe, die im prismatischen Bilde sich zeigt, sein eigenes Brechungsverhältniß habe.

Newton fand bei der Glasart, woraus seine Prismen bestanden, das Brechungsverhältniß

des violetten Lichts 1,56 : 1

des mittelsten grünen Lichts 1,55 : 1

des äussersten rothen Lichts 1,54 : 1

Anm. Unter Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, sind genau genommen die zu verstehen, welche in der Mitte des Farbenbildes liegen, also grüne. Allein man pflegt noch gewöhnlicher darunter die tiefer liegenden gelben zu verstehen, weil das Licht auf der Seite gegen V weit schwächer als auf der Seite R ist. Die gelben Strahlen sind daher, zwar nicht in Ansehung der Lage, aber wohl in Ansehung der Lichtstärke, oder Erleuchtungskraft die mittlern. Für diese fand Newton das Verhältniß 17 : 11 oder 1,5454 ... : 1, welches man als das mittlere Brechungs-Verhältniß des Spiegelglases anzusehen pflegt bei Untersuchungen, wo man auf die Farbenzerstreuung nicht Rücksicht nimmt.

Hr. Biot bemerkt hiebei, daß man allerdings berechtigt sey, das Brechungs-Verhältniß der gelben Strahlen als das mittlere zu betrachten. Denn wenn man das Brechungs-Verhältniß vermittelst eines Prisma untersuche, das einen kleinen Brechungs-Winkel hat, also nur eine sehr geringe Farbenzerstreuung macht, so finde man allezeit genau dieses Verhältniß.

§. 8.

Wäre alles durch das Prisma gehende Licht violet, und von gleicher Brechbarkeit, so würde man bloß bei V ein rundes, violettes Sonnenbild sehen; wäre alles durchgehende Licht roth, so würde bloß bei R ein rothes Sonnenbild erscheinen;

derselbe Schluß gilt von jeder andern Farbe. Hieraus ist klar, daß das verlängerte Bild VR Fig. 90. eigentlich aus einer unendlichen Menge übereinandergeschobener runden Sonnenbilder besteht, von denen jedes folgende nur ein klein wenig tiefer liegt, als das andere. In der nebenstehenden 92. Figur sind die Sonnenbilder, welche zu den sieben Hauptfarben gehören, zu mehrerer Versinnlichung dieser Vorstellung abgebildet. Man sieht aber leicht, daß das Farbenbild Fig. 90. nicht bloß aus sieben solchen Kreisen, wie Fig. 92., sondern aus unzählig vielen bestehen müsse, weil sonst die Seitenlinien AB und CD Fig. 90. nicht gerade seyn könnten. Rückt man diese runden Farbenbilder in Gedanken so weit zusammen, bis der oberste Kreis noch einen Theil des untersten deckt, so vermischen sich in der Mitte alle prismatischen Farben und erscheinen als weißes Licht, das nur oben eine violette, und unten eine gelbrothe Begränzung hat. Dieses ist der Fall, wenn man das durch das Prisma gehende Licht dicht hinter demselben auffängt. Rückt man aber die auffangende Ebene allmälig weiter ab, so rükken die Kreise wegen der ungleichen Brechbarkeit allmälig weiter auseinander. Daher muß der Raum in der Mitte, wo sich alle Farben decken, immer kleiner werden. Das Weiße in der Mitte wird also kleiner, und an den Rändern oben und unten entwickeln sich die Far-

ben immer vollständiger, bis in einer gewissen Entfernung das Weiße gänzlich verschwindet, und das ganze Bild gefärbt erscheint.

§. 9.

Verbindet man nun den Inhalt der beiden vorhergehenden §§. mit einander, so ist klar, daß es nicht eine Hypothese, sondern eine unwidersprechliche Thatsache sey:

> daß jedem Brechungs-Verhältniß im Prisma eine eigenthümliche bestimmte Farbe angehöre; daß die Vermischung aller prismatischen Farben weißes Licht gebe, und daß dieses also aus farbigen Lichtern gemischt und zusammengesetzt sey.

Wieviele einfache farbige Lichter es gebe, und welche Farben man als die einfachen Bestandtheile des Lichts betrachten müsse, kann erst in der Folge untersucht werden. Hier bemerken wir aber noch, daß man in einem verfinsterten Zimmer zum Ueberfluß noch mehrere ganz directe Versuche zum Beweis dieser Newtonschen Sätze anstellen könne, dahin gehört folgendes.

Fängt man das farbige Licht in einiger Entfernung hinter dem Prisma mit einem breiten Sammelglase auf, so findet man hinter demselben an der Stelle, wo alles Licht in einem kleinen Raum zusammengedrängt wird, weißes Licht,

hinter dieser Stelle erscheinen die Farben wieder in umgekehrter Ordnung. Wenn man zwei Prismen, deren brechende Winkel gleich sind, nahe hinter einander mit entgegengesetzter Lage des brechenden Winkels aufstellt, so wird jeder Lichtstrahl eben so stark in dem zweiten abwärts, als im ersten aufwärts gebrochen. Daher kommt jeder wieder in die Richtung, die er vor dem ersten Prisma hatte. Es ist also die verschiedene Brechbarkeit wieder aufgehoben, und das ausfahrende Licht ist daher weiß, und bloß an den Rändern ein wenig gefärbt.

Versuche über jede einzelne prismatische Farbe kann man anstellen, wenn man in einiger Entfernung hinter dem Prisma eine schwarze Ebene aufstellt, in welcher sich eine kleine, sehr schmale horizontale Spalte befindet, die nur einen sehr schmalen und einfarbigen Streifen des Farbenbildes durchläßt. Noch besser isolirt man jede Farbe, wenn man hinter der ersten Ebene in einiger Entfernung eine zweite von eben der Einrichtung aufstellt, so daß durch ihre Spalte nur ein noch kleinerer Streifen des Lichts, das von der ersten Spalte kommt, durchgeht. Auf diese Art kann man Versuche über das Licht von irgend einer einzelnen Farbe anstellen; man kann es durch ein Glasprisma betrachten; man kann es von neuem durch ein Prisma gehen lassen, und sein Brechungsverhältniß untersuchen; man kann, wenn man

auf diese Art zwei oder mehr Farben zugleich isolirt, dieselben wieder vereinigen, entweder durch ein Sammelglas, oder durch Metallspiegel, und dgl. m.

§. 10.

Wir kommeu nun auf die im 2ten §. erwähnten subjectiven Erscheinungen.

Es sey (Fig. V.) AB der Durchschnitt einer ebenen schwarzen Fläche, die durch das Prisma DCE betrachtet wird, bei F befinde sich ein kleiner weißer Kreis, den wir zuerst als einen bloßen Punkt betrachten wollen. Unter den weißen Lichtstrahlen, die er auf das Prisma wirft, betrachten wir zuerst den Strahl FG. Dieser wird nach §. 4. bei G und H zweimal aufwärts gebrochen. Aber wegen der kurz vorher erwiesenen ungleichen Brechbarkeit seiner Bestandtheile, bleibt er weder im Prisma selbst, noch außer demselben, eine einfache gerade Linie, sondern breitet sich innerhalb eines kleinen Winkels fächerförmig aus. Der am stärksten gebrochene Theil desselben ist durch die Linie GHI, der am schwächsten gebrochene durch die Linie GKL angedeutet. Empfinge nun ein Auge in I bloß den Strahl HI, so würde es den Punkt F bei M, aber bloß in violetter Farbe sehen, weil dieser Farbe die stärkste Brechung angehört. Befände sich das Auge bei L und empfinge bloß den Strahl KL, so würde es statt des Punktes F einen rothen Punkt in N sehen.

Empfinge das Auge nur einen Strahl zwischen I und L, so würde es den Punkt F zwischen M und N, in einer der prismatischen Mittelfarben sehen. Empfängt aber das Auge auf einmal alle zwischen I und L liegende Strahlen, welches allerdings der Fall seyn wird, wenn das Auge sich nahe bei dem Prisma befindet, wo die Ausbreitung des Strahls noch sehr gering ist; so wird es statt des Punktes F, eine kleine Linie MN sehen, die oben roth, unten violet erscheinen, und zwischen beiden Enden die prismatische Mittelfarbe zeigen würde.

Nun denke man sich statt des Punktes F, einen kleinen weißen Kreis auf schwarzem Grund, so wird sich leicht zeigen lassen, wie er einem Auge, was die gebrochenen Strahlen bei IH empfinge, erscheinen müßte. Wäre der Kreis nicht weiß, sondern strahlte bloß violettes Licht an der stärksten Brechbarkeit, so würde das Auge bei M einen violetten Kreis sehen. Käme aus F bloß Licht von der schwächsten Brechbarkeit, so würde es bei N einen rothen Kreis sehen. Gäbe F bloß Licht von einer mittlern Brechbarkeit, so würde das Auge zwischen M und N bloß einen Kreis von einer mittlern Farbe sehen. Da aber der Kreis F weißes Licht, also Licht von jedem Grade der Brechbarkeit aufs Prisma sendet, so sieht das Auge diese ganze Reihe von farbigen Kreisen auf einmal, d. h. es wird eine ganz ähnliche Erscheinung sehen, als der §. 9. erklärte, und in den Fi-

guren 90 und 92 aufgestellten objectiven Erscheinung, nur mit dem einzigen Unterschied, daß jetzt die verschiedenen Farben in umgekehrter Ordnung, Roth oben und Violet unten, liegen wird. Man kann diese Erscheinung bei Ermangelung des Sonnenscheines brauchen, um den Zuhörern wenigstens eine anschauliche Vorstellung von dem objectiven prismatischen Farbenbilde zu geben.

§. 11.

Man nehme jetzt an, daß durch den Punkt F, auf dem schwarzen Grunde eine weiße Linie in wagerechter Lage gezogen sey, so wird jeder Punkt derselben, wie der Punkt F, als eine kleine bunte Linie, wie NM, erscheinen. Da aber die Lichtstrahlen, welche aus den von F rechts und links liegenden Theilen der Linie kommen, in schiefer Richtung durchs Prisma gehen müssen, wenn sie das Auge bei IH erreichen sollen, so begreift man auch ohne strengere Untersuchung, daß jeder solcher Strahl einen brechenden Winkel zu durchlaufen habe, der größer ist als DCE. Hieraus folgt aber, daß das Licht, welches von seitwärts liegenden Punkten kömmt, stärker gebrochen werde, als dasjenige, welches von dem Punkte F kommt, der dem Auge gerade gegenüber liegt. Die Bilder von seitwärts liegenden Punkten, werden daher tiefer liegen als NM, und diese Vertiefung muß daher stärker seyn, je entfernter der abgebildete Punkt von F liegt. Das Bild der durch F gezo-

genen Linie kann also weder gerade noch eine bloße Linie seyn, sondern sie erscheint gleichsam als ein flacher Regenbogen, mit allen prismatischen Farben; nur ist die rothe Farbe oben und die violette unten.

§. 12.

Man nehme jetzt an, die Ebene AB sey nur über F schwarz, unter F aber durchaus weiß, so ist klar, daß jeder unter F befindliche Punkt, wenn er allein auf schwarzem Grund dem Auge als eine bunte Linie wie NM erscheinen würde, und zwar eben so tief unter NM, als der Punkt unter F läge; so besteht, was das Auge abwärts von N erblickt, aus einer stätigen Folge solcher Farben-Linien, die sich decken. Nur der höchste Theil der Linie bei N, wird gar nicht, oder von ähnlichen Farben gedeckt, und erscheint dabei violet und blau. In allen Punkten unter M aber liegen alle prismatischen Farben auf einander, so daß die Fläche unter M in ihrer natürlichen Beschaffenheit als weiß erscheint, nur undeutlich, weil sich jeder Punkt als eine kleine Linie abbildet.

Wäre umgekehrt der über F liegende Theil weiß, und der darunter liegende schwarz, so würde man bloß von M bis N rothes und gelbes Licht sehen, über N aber müßte alles weiß erscheinen.

§. 13.

Was hier über weißes Licht gesagt worden,

läßt sich auch auf farbiges Licht anwenden. Denn wir werden in der Folge sehen, daß vielleicht kein einziger gefärbter Körper, ein einfaches farbiges Licht von sich strahlt, sondern daß fast alles in der Wirklichkeit vorkommende Farbenlicht aus eben den Grundfarben als das weiße Licht, nur in einem andern Verhältniß gemischt sey. Denkt man sich daher den Punkt F, oder einen kleinen Kreis um F, oder eine wagerechte Linie durch F, oder endlich die ganze Ebene über oder unter F, auf eine beliebige Art gefärbt, so geschieht doch durch die verschiedene Brechbarkeit eine Farbenzersetzung, auch werden sich im Ganzen dieselben prismatischen Farben zeigen, nur in veränderten Nüancen, und in einem andern Verhältniß der Räume, die sie einnehmen. Hieraus ist aber sichtbar, daß überall farbige Ränder erscheinen müssen, selbst da, wo zwei verschiedene Farben an einander stoßen. Dagegen müssen solche Flächen, die gleichförmig gefärbt sind, innerhalb der farbigen Ränder in unveränderter Farbe erscheinen.

Alles dieses stimmt nun vollkommen mit der Erfahrung überein, und die subjectiven Erscheinungen streiten daher nicht nur gegen Newton's Farbentheorie nicht, sondern bestätigen dieselben unwidersprechlich.

Anm. Biot findet Newtons Vorstellung wahrscheinlicher. Sein Urtheil beruht unstreitig auf den oben erwähnten sehr feinen Versuchen, die er über das

Brechungsvermögen der Körper gemacht hat. Vielleicht lassen sich beide Ansichten vereinigen. Denn das Brechungsvermögen der Körper möchte selbst wohl auf chemischen Anziehungen beruhen.

Von den Farben sehr dünner Körper.

§. 14.

Das Prisma ist nicht das einzige Mittel, das Sonnenlicht in seine Farben zu zerlegen. Auch sehr dünne Blättchen durchsichtiger Körper bringen eben die Wirkung hervor, wie die bunten Farben der Seifenblasen beweisen. Newton stellte sehr viele Untersuchungen hierüber an. Er fand, daß dünne Blättchen von jedem durchsichtigen Körper diese Wirkung hervorbringen, selbst die Luft nicht ausgenommen; er zeigte, daß die jedesmalige Farbe mit der Dünne des Blättchens in Verhältniß stehe, und daß daher beim Wechsel der Dünne die Farben jedesmal in einer bestimmten Ordnung zum Vorschein kommen: aber es ist weder ihm, noch einem spätern Naturforscher gelungen, die Entstehung dieser Farben, auf eben so deutliche Begriffe als die Entstehung der prismatischen Farben zurückzuführen. Man muß sich daher in Rücksicht dieser Erscheinung mit der allgemeinen Betrachtung begnügen, daß in einem dünnen und durchsichtigen Blättchen begreiflich gar mannigfaltige Brechungen und Zurückstrahlungen entstehen müssen, welche im Allgemeinen eine Farbenabsonderung wohl begreiflich machen.

§. 15.

Newton gründete auf diese Beobachtungen eine Hypothese über die Farben der Körper. Er nahm an, daß jeder Körper aus sehr dünnen und durchsichtigen Lamellen zusammengesetzt sey, und daß jedes solche Blättchen, nach Maaßgabe seiner Dikke, eine eigene Farbe zeige. In der That giebt es Thatsachen, die sich wohl nicht anders erklären lassen. Die schillernden Farben der Perlenmutter, des Labradorsteins etc. haben ohne Zweifel einen solchen Ursprung, das Glas und jeder andere durchsichtige und farbenlose Körper fein gepülvert, erscheint weiß, weil in den kleinen Theilchen Licht von allen Farben abgesondert wird, durch deren Vermischung die weiße Farbe entsteht. Eine allgemeine Anwendung dieser Vorstellungsart hat indessen von mehr als einer Seite Schwierigkeit. Allem Ansehn nach ist es eine Art von chemischer Anziehung, vermittelst deren jeder Körper gewisse Bestandtheile des Lichts anzieht, und mit sich verbindet, so daß nur die übrigen, nach den Gesetzen der Mechanik des Lichts, zurückgeworfen werden.

Allgemeine Bemerkungen über die Newtonische Farbentheorie.

§. 16.

Das bisher vorgetragene ist die wesentliche Grundlage von Newton's Farbentheorie, und wir haben gezeigt, daß sie aus lauter Thatsachen, oder

nothwendigen Folgerungen aus denselben bestehe. Wider jene oder diese zu streiten beurkundet also in allen Fällen Mangel an gründlicher Sachkenntniß. Für untrüglich hat nie ein vernünftiger Physiker diesen ausgezeichneten Geist gehalten. Man hat schon im vorigen Jahrhundert ohne Bitterkeit mehrere Irrthümer des großen Mannes aufgedeckt, und wir werden in der Folge Veranlassung finden, noch einige seiner Irrthümer zu bemerken, so wie dieses schon gelegentlich in frühern Abschnitten geschehen ist*). Newton's tiefe Untersuchungen sind von einer Menge gründlicher Köpfe nach ihm geprüft, wiederholt und erweitert, und, wo es nöthig war, berichtigt worden. Sie sind daher jetzt nicht mehr das Besitzthum eines einzelnen Menschen, oder einer Parthei, sondern sie gehören der Wissenschaft und der Menschheit an. Man sollte daher in der Naturlehre eben so wenig von Newtonianern reden, als man in der Geometrie von Euclidisten spricht. Es verräth keinen reinen und unbefangenen Wahrheitssinn, wenn man in wissenschaftliche Untersuchungen Persönlichkeit und Partheisucht einmischt.

Daß der, welcher nicht bloß Optik, sondern

*) Dahin gehören z. B. die oben im 4ten und 5ten Abschnitt, bei der Grundlehre der Hydraulik und Pneumatik bemerkten Newtonischen Gesetzen des Widerstandes flüssiger Körper.

Newtons optische Arbeiten kennen lernen will, sie nicht in abgeleiteten Quellen studiren müsse, versteht sich von selbst. Aber ich muß noch hinzufügen, daß dazu nicht einmal das von Newton, unter dem Titel Optik, herausgegebene Werk hinreicht. Denn laut seiner Vorrede, gab er es nur auf dringendes Verlangen vieler Freunde, und fast wider Willen heraus, bloß weil ein sehr großer Theil des Publikums von seinen Entdeckungen unterrichtet zu seyn wünschte. Daher mußte er alle tiefere Untersuchungen vermeiden, und sich lediglich auf den Experimentalweg einschränken. Selbst die wenigen math. Untersuchungen, welche in der ersten englischen Ausgabe enthalten waren, ließ er in den folgenden Ausgaben weg. Es ist daher nicht zu verwundern, daß bei der übergroßen Menge von Versuchen die er brauchte, sich einige finden (wie man schon früher bemerkt hat), die zu gegründeten Erinnerungen Anlaß gaben. Wer Newtons Arbeiten gründlich kennen lernen will, muß seine Lectiones opticae, und eine Menge von Briefen studiren, die er mit Freunden und Gegnern über diese Gegenstände gewechselt hat.

Zu den nachtheiligen Folgen eines hellen Studiums der Newtonischen Arbeiten gehört besonders auch, daß man manche Meinungen späterer Naturforscher ihm zugeschrieben hat. Dahin gehört besonders die Behauptung, daß es sieben einfache Grundfarben gebe. Dieses behauptet

Newton nirgends, sondern nur, daß es in dem prismatischen Bilde sieben Hauptfarben (colores primarii) gebe. Dagegen behauptet er in einem Briefe an einen ungenannten französischen Gelehrten ausdrücklich, daß man unendlich viele einfache Farben annehmen müsse, weil jede Verschiedenheit im Brechungsverhältniß eine veränderte Farbe zeigt. M. s. Newtoni opuscula, ed. Castilionei. Lausannae et Genevae 1744. Tom. II. p. 371. Prop. I. II. et III.

Wirkung der Farbenzerstreuung bei optischen Gläsern.

§. 17.

Es sey AB Fig. 93. ein Sammelglas; (z. B. das Objectivglas eines Fernrohrs), in einer sehr großen Entfernung vor demselben stehe ein Gegenstand CD, welcher weißes Licht auf das Glas wirft; so entsteht, nach XLII. 16 u. 18., eine verkehrte Abbildung desselben KH im hintern Brennpunkt G des Glases. Nun ist aber auch ohne Rechnung leicht einzusehen, daß die Brennweite eines Glases vom Brechungsverhältniß abhängig sey, und daß dieselbe desto kürzer werde, je stärker die Brechungskraft des Glases ist. Da nun die violetten Strahlen, wie wir gesehen haben, stärker gebrochen werden als die rothen, so ist klar, daß die verschiedenen prismatischen Farben, woraus das weiße Licht besteht, nicht einen und denselben Brennpunkt haben können. Ist nun

V der Brennpunkt der violetten, und R der Brennpunkt der rothen Strahlen, so ist klar, daß das weiße Licht des Gegenstandes CD, in V eine violette Abbildung FG des Gegenstandes, in R eine rothe Abbildung desselben LM, und zwischen beiden, Abbildungen von jeder mittlern prismatischen Farbe machen werde; so daß also zwischen FG und LM eine unzählige Menge von farbigen Bildern des Gegenstandes hintereinander stehen werden. Betrachtet nun ein hinter LM stehendes Auge diese Bilder, so ist klar, daß es in keinem Punkt eine vollkommen scharfe Abbildung des Gegenstandes sehen, daß die Undeutlichkeit von der Achse aus gegen den Rand hin zunehmen, und daß am Rande selbst, die größeren Bilder über die kleinern und besonders das rothe Bild über die übrigen hervorragen, also der Rand des Gegenstandes mit bunten Farben umgeben erscheinen werde.

Man sieht leicht, wie sich ähnliche Betrachtungen bei jedem andern optischen Bilde, welches durch ein Sammelglas oder Zerstreuungsglas hervorgebracht wird, anstellen lassen: denn von jedem solchen Glase gilt der Satz, daß jede Farbe ihren eigenen Brennpunkt habe. Und wenn man sich die Mühe giebt einige andere Fälle auf ähnliche Art nach Newtons Farbenlehre zu betrachten, so wird man finden, daß das Bild eines weißen Gegenstandes auf schwarzem Grunde, bald

mit einem rothen, bald mit einem blauen Saume erscheinen müsse, je nachdem entweder die Bilder, welche auf der rothen, oder die, welche auf der blauen Seite liegen, über die mittlern hervorragen. Ist aber der Gegenstand nicht weiß auf schwarzem Grunde, sondern gefärbt auf einem anders gefärbten Grunde, so können die farbigen Säume schwächer werden, aber nie werden sie gänzlich fehlen (§. 13). Besonders auffallend können sie werden, wenn das Licht durch mehrere Gläser hintereinander geht. Verbindet man z. B. mit einem Objectivglase, um eine starke Vergrößerung zu erhalten, Oculare von zu kleiner Brennweite, so können die farbigen Bilder so weit auseinander treten, und so ungleich an Größe werden, daß alle Deutlichkeit verlohren geht. Daher kann bei jedem Objectivglase, die Vergrößerung immer nur bis zu einem gewissen Punkt getrieben werden. Das Nähere hierüber muß der höhern Rechnung vorbehalten bleiben.

§. 18.

Wir kennen also nunmehr zwei Quellen von Undeutlichkeit bei allen optischen Werkzeugen.

a) Die erste liegt darin, daß keine Krümmung möglich ist, bei welcher in jedem Fall alle Strahlen, die aus einem Punkt kommen, wieder scharf in einen Punkt vereinigt würden; und daß besonders die sphärische Krümmung, die man den Flächen der Gläser giebt, keine vollkom-

mene Vereinigung solcher Strahlen bewirken kann. Diese Unvollkommenheit haben die Gläser mit den Spiegeln gemein. Man nennt sie die Abweichung wegen der Gestalt.

b) Die zweite Quelle von Undeutlichkeit liegt in der eben erklärten Wirkung der Farbenzerstreuung, indem mehrere hinter einander liegende farbige Bilder eines Gegenstandes von verschiedener Größe entstehen, sobald das Licht des Gegenstandes von zusammengesetzter Art ist. Diese Quelle von Undeutlichkeit ist ohne Vergleich größer als die erste; sie findet aber nur bei Gläsern, nicht bei Metall-Spiegeln statt. Man nennt sie die Abweichung wegen der Farbenzerstreuung.

§. 19.

Die Erfahrung lehrt indessen, daß das Auge stärkere Abweichungen beider Arten ohne merklichen Nachtheil der Deutlichkeit verträgt, als man aus theoretischen Gründen vermuthen sollte. Indessen werden doch in der Zusammensetzung der optischen Werkzeuge durch die Abweichungen gewisse Verhältnisse in den Brennweiten und Oeffnungen der Gläser bestimmt, die man ohne sichtbaren Schaden der Deutlichkeit nicht überschreiten darf. Hierdurch wird ein zusammengesetztes optisches Werkzeug ein sehr künstliches Instrument, dessen vollständige Berechnung sehr tiefe Einsichten in die Theorie erfordert.

§. 20.

Die schöne Erscheinung des Regenbogens läßt sich sehr vollständig, aus den Gesetzen der Brechung und Farbenzerstreuung erklären. Aber die ganze Theorie derselben ist mathematisch, und gehört nicht sowohl in die mechanische Naturlehre, als in denjenigen Theil der physischen Erdbeschreibung, der von den Lichterscheinungen im Luftkreise handelt. Eben dahin gehören auch die Erörterungen über die farbigen Ringe, oder sogenannten Höfe, welche sich oft um die Sonne, oder den Mond zeigen, desgleichen die Erscheinungen der Nebensonnen und Nebenmonde, des Morgen- und Abendroths u. s. f.

Anm. Bei dem Regenbogen ist indessen ein Umstand, die öfters sich zeigende Wiederholung der Farben am untern Rande des Bogens, noch nicht befriedigend erklärt. Ueber die farbigen Höfe und Nebensonnen, hat Huighes eine scharfsinnige, aber gekünstelte, und neuerlich Venturi eine etwas einfachere Hypothese aufgestellt. Der Letztere in seinen Commentarii sopra la storia e le teoria dell' Ottica. M. s. Gilbert. B. 52. S. 385 u. f.

Fünfundvierzigstes Capitel.

Das Spiegelteleskop und achromatische Fernrohr.

§. 1.

Die Geschichte der Optik ist für den denkenden Beobachter der Fortschritte des menschlichen Geistes so lehrreich, daß wir für den Vortrag die-

ses Capitels, die geschichtliche Form wählen, und nur soviel theoretische Erörterungen einschalten wollen, als zur Verständlichkeit des historischen Vortrags erforderlich seyn möchte.

Optische Irrthümer vor Newton.

§. 2.

Ehe man das Brechungsgesetz (XLII. 3 – 6.) vollständig kannte, wußte man von den Quellen der Undeutlichkeit bei optischen Werkzeugen (XLIV. 18. 19.) gar nichts. Als Snellius dieses Gesetz entdeckt hatte (XLII. 5.), fand Cartesius die erste, aber geringere Quelle der Undeutlichkeit (XLIV. 18. a); aber er verfiel in den Irrthum, daß dem Uebel durch andere als sphärische Krümmung der Gläser abgeholfen werden könnte; ein Vorurtheil, das sich bis auf unsere Zeiten erhalten hat.

Denkwürdige Irrthümer Newtons in der Farbenlehre.

§. 3.

Newton entdeckte in der Farbenzerstreuung die zweite, viel wichtigere Quelle der Undeutlichkeit (XLIV. 18. b). Seine Untersuchungen über diesen Gegenstand werden, so lange man die Wissenschaften schätzen wird, ein Muster scharfsinniger und genauer Untersuchungen bleiben: aber er vollendete die Untersuchung nicht, und indem er eine Seite des Gegenstandes, deren Wichtigkeit er nicht ahn-

dete, nur beiläufig berührte, fiel er in höchst denkwürdige und folgenreiche Irrthümer.

§. 4.

Newton hatte alle seine Untersuchungen über die Farbenzerstreuung mit Prismen von einerlei Glasart angestellt. Zur Vollständigkeit der Untersuchung aber wäre erforderlich gewesen, auch die Farbenzerstreuung anderer durchsichtiger Mittel zu prüfen. Er berührte diese Untersuchung beiläufig im 2ten Theil des 1sten Buchs seiner Optik, fiel aber dabei in drei Irrthümer.

a) Er machte eine falsche Beobachtung. Er sagt (a. a. O. Exp. 8.): er habe Licht durch Wasser und Glas, mit allerlei Veränderungen in der Lage der brechenden Flächen gehen lassen, und habe gefunden, daß das ausfahrende Licht allezeit gefärbt gewesen sey, wenn es dem einfallenden nicht parallel gewesen, hingegen sey es allezeit farbenlos gewesen, wenn es den einfallenden parallel gewesen sey. Die Folge hat gelehrt, daß diese Beobachtung falsch war.

b) Er setzte stillschweigend und ohne Experimental-Untersuchung voraus, daß die Farben-Vertheilung in den prismatischen Bildern an ein gemeinschaftliches Gesetz gebunden sey, aus welcher Materie auch das Prisma bestehe, so daß sich aus dem mittelbaren Brechungs-Verhältniß die ganze Farben-Vertheilung müsse bestimmen

lassen. Auch dieser Schluß war falsch wie die Folge gelehrt hat.

c) Er leitete aus dem unter a erwähnten Versuch ein Gesetz ab, wodurch die Farbenzerstreuung in zwei durchsichtigen Mitteln verglichen werden könnte. Er sah dies Gesetz als allgemein richtig an: allein man hat in der Folge gefunden, daß es sich nur bei sehr kleinen Brechungswinkeln der Richtigkeit nähert, und daß eigentlich aus dem Versuche, wenn er auch richtig gewesen wäre, gar kein Gesetz der Farbenzerstreuung abgeleitet werden könne.

§. 5.

Wären diese Behauptungen Newtons richtig, so bedarf es eben keiner tiefen Einsichten in die Mathematik, um einzusehen, daß bei einem dioptrischen Instrument, die Wirkung der Farbenzerstreuung auf keine Art gehoben werden könne. Denn sollte die Farbenzerstreuung gehoben werden, so müßte man die Einrichtung so machen, daß jeder aus dem letzten Glase ausfahrende Strahl, vollkommen, oder fast genau wieder parallel würde mit der Richtung, die er vor dem Eingang ins Objectivglas hatte: dann würde man aber durch ein solches Instrument nichts weiter sehen, als was das bloße Auge zeigte, nur dunkler und undeutlicher. Newton gab daher die dioptrischen Fernröhre, als unheilbar krankend auf: aber die Irrthümer des großen Mannes hatten die heilsame

Folge für die Optik, daß er Erfinder des Spiegelteleskops wurde.

Das Spiegel-Teleskop.

§. 6.

Der wesentliche Theil des Newtonischen Spiegelteleskops ist ein metallner Sammelspiegel, der die Stelle eines Objectivglases vertritt. Er wird auf dem Boden einer Röhre, deren Länge seiner Brennweite gleich ist, so befestigt, daß er seine polirte Fläche einwärts gegen die andere Oeffnung der Röhre kehrt. Wird nnn die gemeinschaftliche Achse dieses Spiegels und der Röhre gegen einen entfernten Gegenstand gerichtet, so entsteht (nach XLI. 9.) ein kleines verkehrtes Bild desselben im Brennpunkt. Dies Bild läßt man aber nicht zur Wirklichkeit kommen, sondern fängt es in einer Entfernung vor dem Brennpunkt, die ungefähr dem Halbmesser der Röhre gleich ist, mit einem kleinen, ebenen Metallspiegel auf, der mitten in der Achse des Rohrs an einem dünnen Arm befestigt ist, und mit der Achse einen Winkel von 45 Graden macht. Dieser kleine Spiegel reflectirt also das Licht, das er von dem großen Spiegel erhält, gegen die eine Seitenwand des Rohrs, so daß das Bild, welches der große Spiegel macht, hier zur Wirklichkeit kommt. An dieser Stelle ist die Röhre durchbrochen, und man betrachtet das Bild, wie im Kepplerschen Stern-

rohr (XLIII. 8.), durch ein kleines mikroskopisches Linsenglas.

Da bei der Zurückstrahlung von Metallspiegeln keine Farbenzerstreuung statt findet, und selbst die Abweichung wegen der Kugelgestalt (XLIV. 18.) nur gering ist, so ist das Bild eines solchen Spiegels, ohne Vergleich deutlicher, als das Bild eines Objectivglases. Es verträgt daher eine weit stärkere Vergrößerung, und die Ausführung zeigte, daß man mit einem solchen katoptrischen Fernrohr von wenig Fußen mehr ausrichten konnte, als mit den längsten mehr als 100 füßigen dioptrischen Fernröhren.

§. 7.

Gregory verbesserte das Spiegelteleskop dadurch, daß er statt des kleinen schiefstehenden Planspiegels einen kleinen Sammelspiegel parallel mit dem großen, vorne ins Rohr setzte, so daß er seine polirte Fläche dem großen Spiegel zukehrt. Dieser kleine Spiegel wird so gestellt, daß sein Brennpunkt noch ein wenig außer der Brennweite des großen Spiegels liegt. Betrachtet man nun das verkehrte Bild, welches der Objectivspiegel macht, als einen Gegenstand, der sein Licht auf den kleinen Spiegel wirft, so sieht man leicht (aus XLI. 9. Fig. 62.), daß der kleine Spiegel ein zweites aufrechtes und etwas größeres Bild in der Nähe des großen Spiegels machen wird. Der kleine Spiegel kann so gestellt werden, daß dieses Bild

noch hinter den großen Spiegel fallen würde, wenn das Licht durch diesen hindurch gehen könnte. Um nun die Entstehung dieses Bildes möglich zu machen, hat der große Spiegel in der Mitte ein rundes Loch, ungefähr von der Größe des kleinen Spiegels, durch welche das vom kleinen Spiegel reflectirte Licht hindurch geht. Es würde also hinter dem Spiegel wirklich ein Bild entfernter Gegenstände entstehen, wenn man das Licht nicht mit einem Collectivglase auffinge, ehe es zur Wirklichkeit kommt. Hierdurch sammelt man die Strahlen in ein kleineres Bild (XLIII. 5. F. 85.), welches endlich durch eine mikroskopische Linse betrachtet wird.

Dieses künstlich zusammengesetzte Instrument hat vor dem Newtonischen hauptsächlich den Vorzug, daß man die Gegenstände in der Richtung, in der sie wirklich stehen, und zwar aufrecht sieht.

§. 8.

Neuerlich ist der berühmte Herschel, um möglichst starke Vergrößerungen, und um möglichst starkes Licht (woran es allen Spiegelteleskopen fehlt) zu erhalten, wieder zu der Newtonischen Einrichtung zurückgekehrt; aber mit einer Abänderung, die nur bei sehr großen Instrumenten dieser Art anwendbar ist. Er läßt den kleinen Spiegel ganz weg, und richtet das Rohr z. B. gegen einen Sitern so, daß er nicht in der Achse, sondern über derselben steht. Stellt man sich einen Strahl vor,

der von diesem Stern nach der Mitte des Spiegels geht, so muß das Rohr so gestellt seyn, daß derselbe nahe am obern Rand des Rohrs vorbeigeht: dieser Strahl wird aber offenbar nach dem gegenüberliegenden untern Rand der Oeffnung des Rohrs reflectirt, und wenn die Länge des Rohrs der Brennweite des Spiegels gleich ist, so entsteht nahe am untern Rand der Oeffnung des Rohrs das Bild des Sterns. Hier kann man also dieses Bild ganz unmittelbar durch eine kleine Linse betrachten, wofern nur die Oeffnung des Rohrs so groß ist, daß der Theil derselben, welchen der Kopf des Beobachters verdeckt, gegen die ganze Oeffnung nicht beträchtlich ist. Man gewinnt durch diese Einrichtung bei sehr großen Instrumenten an Licht, Deutlichkeit und Vergrößerung.

Eulers Scharfblick und Irrthum. Dollond. Klingenstierna.

§. 9.

Newtons Verirrung blieb ein halbes Jahrhundert unentdeckt; ja Leonh. Euler, der scharfsinnigste Analytiker des verflossenen Jahrhunderts, schien Newtons Versuch, und die daraus gezogenen Folgerungen gar nicht zu kennen, als er im Jahre 1747 aus einer ganz einfachen Betrachtung des menschlichen Auges den Schluß machte: es müsse möglich seyn, die durch Brechung entstandene Farbenzerstreuung wieder zu heben, weil sie in unserm

Auge wirklich gehoben ist; und sein Scharfblick entdeckte sogleich in der Verbindung mehrerer durchsichtigen Materien, das Mittel, wodurch die Natur dieses Kunststück bewirkt hat. Er hielt es für möglich dieses Kunststück nachzuahmen, wenn man zwei convex-concave Gläser mit den concaven Seiten auf einander legte, und die dadurch entstehende Hölung mit Wasser füllte. Er umfaßte diesen Gegenstand mit der Allgewalt seines Calculs; aber er mußte zu diesem Zweck die Kraft, mit welcher das Wasser die Farben zerstreut, eben so genau kennen, als man die Farbenzerstreuung des Spiegelglases aus Newtons Untersuchungen kannte. Hierzu schienen ihm zwei Wege offen zu stehen, Versuche oder Speculation. Er wählte den letztern, als hätte der große Mann durch sein Beispiel lehren sollen, daß selbst die mathematische Speculation irre führt, wenn sie die leitende Hand der Erfahrung verschmäht. Er setzte wie Newton voraus, daß die Farbenzerstreuung in allen brechenden Mitteln, unter einem allgemeinen Gesetz stehe, und untersuchte, wie dieses Gesetz beschaffen seyn müsse. Er fand ein solches Gesetz, und zeigte sehr richtig, daß es das einzige mögliche sey, was allen Foderungen, die man von Seiten der Analysis machen könne, Genüge thue. Dies Gesetz war von Newtons Gesetz gänzlich verschieden, aber Euler kannte, wie es scheint, das Newtonische gar nicht. Er berechnete also aus seinem Gesetze, wie

die Flächen eines aus Glas und Wasser zusammengesetzten Objectivglases beschaffen seyn müßten, wenn es ein farbenloses Bild geben sollte (Hist. de l'acad. de Berlin. 1747. S. 174 u. f.).

§. 10.

Eulers Untersuchung machte Aufsehen. Die geschicktesten Künstler versuchten solche Objectivgläser zu schleifen; aber alle Mühe war vergeblich. Der ältere Dollond, ein vortrefflicher englischer Künstler, entdeckte zuerst den Widerspruch zwischen Newtons und Eulers Gesetz der Farbenzerstreuung, und da Eulers Gesetz sich nicht durch den Erfolg zu bestätigen schien, so glaubte er, die Wahrheit liege auf Newtons Seite. Euler, ohne Newtons Versuche und Schlüsse zu prüfen, begnügte sich durch die strengsten Schlüsse zu zeigen, daß sein Gesetz das einzig mögliche sey (Hist. de l'acad. de Berlin. 1753. S. 294 u. f.), und suchte den Grund des Mißlingens in den großen Schwierigkeiten einer genauen Ausführung.

§. 11.

Klingenstierna, ein sehr gründlicher schwedischer Mathematiker, unterwarf Newtons Behauptung über diesen Gegenstand einer strengen Prüfung, und fand, daß aus Newtons Versuch (§. 4. a.), genau genommen, nicht ein, sondern viele einander widersprechende Gesetze der Farbenzerstreuung folgten: daß also hier irgendwo ein Irrthum stecken müsse. (Abhandl. der schwedisch.

Academie von 1754; in Kästners Uebersetzung S. 300 u. f.).

§. 12.

Hierdurch wurde Dollond veranlaßt Newtons Versuch zu wiederholen, und er fand, daß er falsch war; aber daß auch Eulers Gesetz nicht das richtige seyn könne, weil der Erfolg des Versuchs auch diesem nicht gemäß war. Da er indessen das Gewicht des Eulerschen Beweises für eine farbenlose Brechung, aus dem Bau des Auges anerkannte; so unternahm er die weitere Untersuchung auf dem Experimentalwege. Er fand, daß Glas und Wasser zu diesem Zweck nicht tauglich wären; er untersuchte daher mehrere Glasarten, und fand, daß es deren giebt, die das Licht merklich anders brechen und die Farben stärker zerstreuen, als das gemeine Glas. Nach vielen Versuchen gelang es ihm, zwei Prismen zu Stande zu bringen, die mit den brechenden Winkeln in entgegengesetzter Lage an einander gelegt, eine beträchtliche Brechung, und doch ein ganz farbenloses ausfahrendes Licht gaben. Das eine Prisma bestand aus englischem Kronglas (grünlichem Spiegelglas), und hatte einen brechenden Winkel von 30°; das andere bestand aus Flintglas (englischem Krystallglas), und hatte einen brechenden Winkel von 19°.

§. 13.

Durch diesen Erfolg überzeugte sich Dollond von der Möglichkeit, aus Kron- und Flintglas

ein Objectivglas zusammenzusetzen, welches farbenlose Bilder machte. Es gelang ihm, ein solches aus einem Sammelglase von Kronglas, und einem Zerstreuungsglase von Flintglas zu Stande zu bringen, und so wurde er Erfinder des achromatischen (d. i. farbenlosen) Fernrohrs.

§. 14.

Euler vergütigte dem Publicum seinen Irrthum, der diese merkwürdige Erfindung veranlaßt hatte, sehr reichlich dadurch, daß er sich einer Arbeit unterzog, der er vielleicht ganz allein gewachsen war. Er brachte nicht nur die Theorie der Abweichung wegen der Farbenzerstreuung, sondern die noch viel schwerere Theorie der Abweichung wegen der Kugelgestalt, auf höchst allgemeine und doch bewundernswürdig einfache Formeln zurück; so daß man jetzt beide Arten der Abweichung für jede beliebige Stellung von Gläsern ohne Schwierigkeit berechnen kann. Er zeigte, daß dreifache Objectivgläser (aus zwei Sammelgläsern von Kronglas, und einem dazwischen gestellten Zerstreuungsglase von Flintglas), bedeutende Vorzüge vor Dollonds doppelten haben würden; er zeigte, wie man die Oculargläser zu solchen Objectiven auf das vortheilhafteste anordnen müsse, und stellte alle seine Untersuchungen in einer solchen Allgemeinheit an, daß sie gegenwärtig auf alle erdenklichen Arten von optischen Instrumenten angewendet werden könnten. Kurz er zeigte den bloßen Empirikern,

daß zwar die Theorie irren könne, daß sie aber auch, wenn sie einmal den richtigen Weg gefunden habe, weit mehr leisten könne, als alle Empirie. Euler lieferte alle seine optischen Untersuchungen vereinigt, in einem Werk, das unter dem Titel erschienen ist: Dioptrica, auctore Eulero. Petropoli 1769 — 1771. 3 Tom. 4. Späterhin hat sich Klügel durch seine Analytische Dioptrik Leipzig 1778, 4to, ein sehr wesentliches Verdienst um die Optik erworben, indem er Eulers Theorie gedrängter, aber faßlicher und lichtvoller vorgetragen hat. Diese beiden Werke sind die eigentlichen Quellen, aus welchen jetzt alle tieferen optischen Kenntnisse geschöpft werden müssen. Priestley's Geschichte der Optik, a. d. Engl. übers. von Klügel (Leipzig 1776. 2 Th. 4to) ist ein Werk, das hier nicht unerwähnt bleiben darf, weil es über alle Gegenstände der Optik, für den gründlichen Naturforscher eben so interessant, als für den Liebhaber faßlich und belehrend ist.

§. 15.

Worin lag also Eulers anfänglicher Irrthum? bloß darin, daß er ein Gesetz suchte, wo es keins giebt: denn man hat sich durch Untersuchung von mancherlei Glasmischungen überzeugt, daß Brechung und Farbenzerstreuung ganz unabhängig von einander sind, und daß das Verhältniß beider von keinem allgemeinen Gesetz, sondern von der ganz individuellen Beschaffenheit der brechenden Materie

ab-

abhängt, also in jedem Fall nur durch unmittelbare Experimentaluntersuchung gefunden werden kann. Nichts macht die Richtigkeit dieser Behauptung anschaulicher, als die von dem Prof. Zeiher in Petersburg angestellten interessanten Versuche mit verschiedenen Glasmischungen. Er fand, daß ein Zusatz von Bleioxyd die Farbenzerstreuung sehr stark, die mittlere Brechung aber nur wenig verändert. Bei einem Zusatz von Alkali ist es umgekehrt. M. sehe Gehler I. 43. Wie oft mag der Philosoph ein Gesetz suchen, und ein einziges mögliches finden, wo keins existirt.

§. 16.

Die Verfertigung achromatischer Fernröhre ist nicht ohne Schwierigkeit, doch verfertigt man jetzt auch außer England brauchbare Werkzeuge dieser Art und auch außer England, besonders in Frankreich, verfertigt man vortreffliches Flintglas. Doch ist bis jetzt keinem Künstler die Verfertigung sehr großer Instrumente dieser Art gelungen, weswegen Herschel, wie oben erwähnt worden, zur Erhaltung der stärksten Vergrößerungen wieder zum Spiegelteleskop zurückgekehrt ist. Uebrigens übertreffen die Instrumente von mittlerer Größe, nicht nur die gemeinen dioptrischen Fernröhre, sondern selbst die Spiegelteleskope außer der ihnen eigenen Deutlichkeit an vollem Licht, und an Größe des Gesichtsfeldes sehr auffallend.

Bei zusammengesetzten Mikroskopen ist es sehr

schwierig, die Objectivlinse achromatisch zu machen, weil die einzelnen Gläser, woraus sie zusammengesetzt seyn müßten, so klein seyn würden, daß es schwerlich möglich ist, sie mit Genauigkeit auszuführen.

Anm. Seit einigen Jahren hat Hr. Ober-Bergrath Schaffrinsky in Berlin, Objectivlinsen aus zwei Glasarten verfertigt, die sehr gute Wirkung thun.

Mathematische Zusätze.

§. 17.

Wir wollen für Leser, welche die nöthigen mathematischen Vorkenntnisse besitzen, noch soviel von der mathematischen Farbenlehre hinzufügen, als zu einer deutlichen Einsicht von der Möglichkeit achromatischer Bilder nöthig ist.

§. 18.

Erfahrung. Wenn zwischen den parallelen Ebenen AB, CD und EF Fig. 94. Mittel von verschiedener Brechungskraft, über AB, und unter EF aber einerlei Mittel befindlich ist, und es fällt ein Lichtstrahl GH auf die oberste Fläche, der durch H, I und K nach L hingebrochen wird; so ist der ausfahrende Strahl KL allezeit dem einfallenden Strahl GH parallel, folglich farbenlos.

§. 19.

Lehrsatz. Wenn n : 1 das Brechungsverhältniß aus Luft in irgend ein Mittel A, und m : 1 das Brechungsverhältniß aus Luft in ein anderes Mittel B ist, so ist das Brechungsverhältniß aus dem Mittel A in das Mittel B, m : n.

Beweis. Es sey Fig. 94. über AB, und unter EF Luft. Zwischen AB und CD befinde sich das Mittel A; zwischen CD und EF das Mittel B. Man ziehe durch H, I und K die Einfallslothe MN, OP, QR, und nehme an, das Brechungsverhältniß aus A in B sey x : y; so verhält sich

$$\text{Sin } GHM : \text{Sin } NHI = n : 1$$
$$\text{Sin } HIO : \text{Sin } PIK = x : y$$
$$\text{Sin } IKQ : \text{Sin } RKL = 1 : m$$

Da nun NHI = HIO, ferner PIK = IKQ, endlich (nach §. 18.) auch GHM = RKL, so erhält man durch Zusammensetzung dieser drei Proportionen

$$1 : 1 = nx : my$$

also nx = my; woraus folgt

$$x : y = m : n$$

§. 20.

Lehrsatz. Es sey CAB, ABD Fig. 95. ein senkrechter Durchschnitt zweier an einander gelegten Prismen von verschiedener Brechungskraft; für das erste sey das Brechungsverhältniß n : 1, für das zweite m : 1; ein Lichtstrahl EFGHI werde in beiden so gebrochen, wie die Figur zeigt; man verlängere den einfallenden Strahl EF, und den ausfahrenden HI, bis sie sich in Q schneiden; nimmt man nun an, daß die Brechungsverhältnisse von den Winkeln selbst gelten, so ist der Winkel, um welchen der Strahl durch alle Brechungen aus seiner ersten Richtung abgelenkt wird

$$IQR = (n - 1) \, CAB - (m - 1) \, ABD$$

Beweis. Man errichte in den Punkten F, G, H die Einfallslothe KL, SM, NO, und verlängere sie, bis sich das erste und zweite in L, das zweite und dritte in N schneidet; zur Abkürzung setze man

$$CAB = A; \; ABD = B; \; EFK = F;$$

auch bemerke man vorläufig, daß die Winkel, welche

die beiden Einfallslothe, die zu jedem Prisma gehören, machen, dem brechenden Winkel in jedem Prisma gleich sind, also

$$SLF = CAB = A;\ HNG = ABD = B;$$

welches schon oben (XLIV. §. 5. Anm.) erwiesen worden. Dies vorausgesetzt, so ist

$$LFP : LFG = n : 1; \text{ also } LFG = \frac{1}{n} F;$$

$$LGF = SLF - LFG = A - \frac{1}{n} F;$$

Da ferner nach §. 19.

$$LGF : HGM = m : n$$

$$\text{so ist } HGM = \frac{n}{m} LGF = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F;$$

$$NHG = HGM - HNG = \frac{n}{m} A - \frac{1}{m} F - B;$$

und da NHG : IHO = 1 : m, so ist

$$IHO = mNHG = nA - F - mB.$$

Nun ist aber

$$IQR = QHP + HPQ = QHP + FGP + PFG$$

Es ist aber

$$1)\ QHP = IHO - NHG = + nA - F - mB - \frac{n}{m}A + \frac{1}{m}F + B$$

$$2)\ FGP = HGM - LGF = + \frac{n}{m}A - \frac{1}{m}F - A + \frac{1}{n}F$$

$$3)\ PFG = EFK - LFG = + F - \frac{1}{n}F.$$

Folglich ist

$$IQR = (n - 1)A - (m - 1)B.$$

§. 21.

Zusatz. Die Brechungsverhältnisse n : 1 und m : 1 mögen sich auf Strahlen von mittlerer Brechbarkeit beziehen; für die brechbarsten violetten, mögen diese Verhältnisse N : 1 und M : 1 seyn; so wird der Winkel, um welchen die letzten nach allen Brechungen aus ihrer ersten Richtung abgelenkt werden, seyn

$$IQR = (N - 1) A - (M - 1) B.$$

Soll nun das ausfahrende Licht farbenlos seyn, so müssen die Strahlen der verschiedenen Farben nach allen Brechungen einander parallel werden, folglich der Winkel IQR für alle gleich seyn; dann ist also

$$(n - 1) A - (m - 1) B = (N - 1) A - (M - 1) B.$$

woraus folgt

$$(N - n) A = (M - m) B$$

oder $M - m : N - n = A : B$

Da nun nach Dollond's Versuchen (§. 12.) Kron- und Flintglas eine farbenlose Brechung geben, wenn $A = 30°$, und $B = 19°$, so verhält sich

$$N - n : M - m = 19 : 30$$

oder beinahe $= 2 : 3$

Man nennt aber die Werthe $N - n$ und $M - m$ das Maaß der Farbenzerstreuung. Dies Verhältniß ist es, was durch kein allgemeines Gesetz bestimmt werden kann, sondern in jedem Fall, unmittelbar durch einen dem Dollondischen ähnlichen Versuch, gefunden werden muß. (M. vergl. §. 15).

§. 22.

Anmerkung. Wäre Newtons Versuch (§. 4. a) richtig, so müßte, wenn das ausfahrende Licht farbenlos seyn soll, IQR sowohl für die mittlern, als violetten Strahlen = 0 seyn. Dann hätte man

$$(n - 1) A = (m - 1) B$$

oder $m - 1 : n - 1 = A : B$
desgleichen $(N - 1) A = (M - 1) B$
also $M - 1 : N - 1 = A : B$
Hieraus würde folgen
$M - 1 : m - 1 = N - 1 : n - 1$
oder wenn man schließt: wie die Differenz des ersten und zweiten Gliedes zum zweiten, so die Differenz des dritten und vierten zum vierten.
$M - m : m - 1 = N - n : n - 1$
oder $M - m : N - n = m - 1 : n - 1.$

Dies war Newtons falsches Gesetz. Es war falsch 1) weil es sich auf eine falsche Beobachtung gründete; 2) weil dabei die Voraussetzung gemacht wird, daß das Brechungsverhältniß dem Winkel selbst zukomme, welches nur bei sehr geringen Brechungen der Wahrheit nahe kommt. Berechnet man die Brechungen scharf, so folgt aus Newtons Versuch gar kein bestimmtes Gesetz (§. 11).

§. 23.

Anmerkung. Eulers falsches Gesetz (§. 9.) war hiervon sehr verschieden. Er glaubte M, müsse von m, auf dieselbe Art abhängig seyn, wie N von n, und er zeigte sehr richtig, daß dies nur dann möglich wäre, wenn sich verhielte

$$\text{Log } M : \text{Log } m = \text{Log } N : \text{Log } n$$

§. 24.

Aufgabe. In A Fig. 96. stehe ein sphärisches Glas, für welches das mittlere Brechungsverhältniß $n : 1$ ist; in B, so dicht neben dem vorigen, daß AB $= 0$, stehe ein Glas von anderer Art, für welches das mittlere Brechungsverhältniß $m : 1$ ist; beide Gläser sollen so stehen, daß AD ihre gemeinschaftliche Achse ist: es soll die Stelle bestimmt werden, in wel-

cher das Bild eines unendlich entfernten Gegenstandes nach den Brechungen durch beide Gläser, stehen wird.

Aufl. Die Brennweite des ersten Glases sey = p, des zweiten = q. Sind f und g die Halbmesser der beiden Flächen des ersten Glases, h und i aber die Halbmesser der Flächen des zweiten Glases, so hat man (nach XLII. 31. n. 5.), wenn man zur Abkürzung $\frac{1}{f} + \frac{1}{g} = F$ und $\frac{1}{h} + \frac{1}{i} = H$ setzt.

$$\frac{1}{p} = (n - 1) F; \quad \frac{1}{q} = (m - 1) H;$$

Nun sey C der Brennpunkt des ersten Glases A, so liegt das Bild eines unendlich entfernten Gegenstandes, welches durch dieses Glas gemacht wird, in C.

Dieses Bild vertritt für das zweite Glas die Stelle eines Gegenstandes, und das Bild, welches von demselben durchs zweite Glas B gemacht wird, liege in D, so ist BD die zu bestimmende Größe.

In der allgemeinen Formel $\frac{1}{p} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ (XLII. 31. n. 6.) ist in unserm gegenwärtigen Falle statt p zu schreiben q, und — BC statt a, weil der Gegenstand in der Entfernung BC hinter dem Glase liegt; da wir aber AB = 0 annehmen, so ist — BC = — AC = — p, und so haben wir

$$\frac{1}{q} = -\frac{1}{p} + \frac{1}{BD}; \text{ oder } \frac{1}{BD} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

oder wenn man für $\frac{1}{p}$ und $\frac{1}{q}$ ihre oben angegebenen Werthe setzt

$$\frac{1}{BD} = (n - 1) F + (m - 1) H.$$

$$\text{also } BD = \frac{1}{(n - 1) F + (m - 1) H}.$$

§. 25.

Zusatz. Für die brechbarsten Strahlen sey das Brechungsverhältniß im ersten Glase N : 1, im zweiten M : 1. Ist nun E die Stelle, wo das durch die brechbarsten Strahlen hervorgebrachte Bild steht (XLIV. 17.), so ist nach §. 24.

$$BE = \frac{1}{(N - 1) F + (M - 1) H}.$$

Soll nun die Zusammensetzung achromatisch seyn, so müssen die Bilder von allen Farben in eins zusammenfallen, also BE = BD seyn; woraus folgt

$$(n - 1) F + (m - 1) H = (N - 1) F + (M - 1) H$$

oder $(N - n) F + (M - m) H = 0$.

Da nun

$$\frac{1}{p} = (n - 1) F; \text{ also } F = \frac{1}{(n - 1) p};$$

$$\frac{1}{q} = (m - 1) H; \text{ also } H = \frac{1}{(m - 1) q};$$

so ergiebt sich

$$\frac{(N - n)}{(n - 1) p} + \frac{(M - m)}{(m - 1) q} = 0$$

oder, wenn man durch pq multiplicirt, und das zweite Glied auf die linke Seite bringt

$$\frac{N - n}{n - 1} q = - \frac{M - m}{m - 1} p$$

woraus folgt

$$p : q = \frac{N - n}{n - 1} : - \frac{M - m}{m - 1}.$$

So müssen sich also die Brennweiten beider Gläser verhalten, wenn durch sie ein einziges farbenloses Bild hervorgebracht werden soll.

§. 26.

Zusatz. Nach Dollonds Versuche ist das Bre-

chungsverhältniß der mittleren Strahlen im Kronglase 1,55 : 1; also n — 1 = 0,55; beim Flintglase ist dieses Verhältniß 1,58 : 1; also m — 1 = 0,58. Die Farbenzerstreuung aber verhält sich in beiden Glasarten, wie 19 : 30 (§. 21.), d. h. es verhält sich

$$N - n : M - m = 19 : 30$$

Hieraus folgt also

$$p : q = \frac{19}{0,55} : - \frac{30}{0,58}$$

d. i. $p : q = 1 : - 1,497 \ldots$

das zweite aus Flintglas bestehende Glas muß also ein Zerstreuungsglas seyn.

So richtig dieses Resultat von Seiten der Theorie ist, so würde es doch für die Anwendung nicht zuverlässig seyn, weil Dollond das Verhältniß der Farbenzerstreuung (19 : 30) nur als ungefähr richtig angiebt.

Für die wirkliche Ausführung würde übrigens noch eine etwas schwierigere Rechnung zu machen seyn, nämlich die Bestimmung der vortheilhaftesten Größe der Halbmesser f, g, h, i. Man übersieht nämlich leicht aus den Formeln

$$\frac{1}{p} = \frac{n-1}{f} + \frac{n-1}{g}; \quad \frac{1}{q} = \frac{m-1}{h} + \frac{m-1}{i};$$

daß diese Halbmesser bei ungeänderter Brennweite auf unendlich mannigfaltige Art verändert werden können. Durch eine geschickte Wahl derselben kann auch die Abweichung wegen der Kugelgestalt, nach Eulers Theorie, entweder ganz gehoben, oder doch sehr vermindert werden, so daß die richtig berechneten Objectivgläser dieser Art, von beiden Fehlern der Abweichung frei sind. Ueber diese Rechnung sind Euler und Klügel nachzusehen.

In der Hebung der Abweichung wegen der Gestalt,

liegt der Grund, warum die Objectivgläser verhältnißmäßig eine weit größere Oeffnung vertragen, als alle einfache Gläser und Spiegel. Hierin liegt der Grund, warum die achromatischen Fernröhre so lichtvoll sind. Die Größe des Gesichtsfeldes aber, hängt von der geschickten Anordnung der Oculare ab.

Sechsundvierzigstes Capitel.

Neuere optische Entdeckungen.

§. 1.

Die physikalischen Zeitschriften sind seit zwei bis drei Jahrzehnten mit einer Menge merkwürdiger Beobachtungen über das Licht angefüllt, wodurch die früheren Ansichten sehr erweitert, zum Theil auch berichtigt worden. Wir können diese Beobachtungen nicht ganz mit Stillschweigen übergehen, obgleich mehrere dadurch veranlaßte Untersuchungen, noch weit von einer Vollendung und sichern wissenschaftlichen Begründung entfernt sind.

Die einfachen Grundfarben und der Farbengegensatz.

§. 2.

Daß das weiße Licht durch das Prisma in farbige Bestandtheile zerlegt werde, ist eine unstreitige Thatsache. Daß aber alle diese Farben, oder einige derselben einfach wären, war eine Annahme, von deren Unrichtigkeit man sich leicht durch die

einfache Betrachtung hätte überzeugen können, daß es in dem prismatischen Bilde (außer den äußersten Gränzen) nicht einen einzigen Punkt gebe, der nicht durch die Deckung einer unzähligen Menge von runden verschieden gefärbten Sonnenbildern entstehe, daß folglich alle Farben des prismatischen Bildes zusammengesetzt sind, und daß überhaupt das prismatische Farbenbild gar nicht die Erscheinung sey, aus welcher sich ein sicherer Schluß auf die einfache Grundfarbe des Lichts machen lasse.

§. 3.

Man kann es gegenwärtig als ausgemacht ansehen, daß es nur drei einfache Grundfarben gebe, nämlich Roth, Gelb und Blau. Die Künstler haben dieses von jeher sehr einstimmig behauptet, und zwar aus dem ganz einfachen Grunde, daß sie aus diesen drei Farben alle anderen mischen, und durch Zusatz von Weiß oder Schwarz, auch alle Töne jeder Farbe hervorbringen können. Ein directer wissenschaftlicher Beweis läßt sich schwerlich hierüber geben, da es nicht scheint, als ob das weiße Licht in irgend einer Erscheinung in diese drei Grundfarben zerlegt würde; aber alle Folgerungen die man aus der Annahme ziehen kann, scheinen sich so vollkommen in der Erfahrung zu bestätigen, daß daraus ein sehr genügender indirecter Beweis erwächst. Zu dem Ende ist aber nöthig, einige all-

gemeine Bemerkungen über die Farben voraus zu schicken.

§. 4.

Grau ist nichts anders als eine Vermischung von Weiß und Schwarz, und es ist klar, daß man ein schneeweißes Pigment durch allmälig vermehrte Hinzusetzung von einem schwarzen, durch alle Stufen des Grauen hindurch bis ins völlig Schwarze steigern könne. Daher erscheint von zwei gleich weißen Flächen die eine gegen die andere grau, sobald sie weniger erleuchtet wird. Denn da Schwarz nichts ist als Abwesenheit des Lichts, so giebt eine Fläche, auf die man eine Mischung von gleichen Theilen Weiß und Schwarz getragen hat, nur die Hälfte des weißen Lichtes zurück, was sie empfängt, die andere Hälfte wird vom schwarzen Pigment verschluckt. Dieselbe Abstufung des Grau würde erscheinen, wenn man von zwei gleich weißen Flächen, die eine nur mit halb so viel weißem Lichte beleuchtete, als die andere.

Man kann daher sagen, Grau sey nichts als ein geschwächtes Weiß, es sey durch Beimischung von Schwarz, oder durch verminderte Beleuchtung entstanden.

§. 5.

Jede Farbe, sie sey einfach oder zusammengesetzt, kann durch Zusatz von Weiß, bis ins völlig Weiße, und durch Zusatz von Schwarz, bis ins völlig Schwarze durch alle Töne (Abstufungen) hindurch gesteigert werden.

Es kann scheinen als ob Gelb nur ins Weiße, nicht ins Schwarze gesteigert werden könnte; aber der Schein entsteht mehr aus der Sprache, als aus der Sache. Wir nennen nämlich die dunklern Töne von Gelb, nicht mehr so, sondern Braun. So nennt man z. B. die trockne Oberfläche von Gummi guttae nicht gelb, sondern braun.

Eine gesättigte Farbe würde die seyn, die alles Licht, woraus die Farbe besteht (es sey einfach oder zusammengesetzt) zurückgiebt. Giebt sie weniger zurück (es sey, weil sie weniger als eine andere Fläche derselben Farbe empfängt, oder weil ihr Schwarz beigemischt ist), so ist sie ins Dunkle gesteigert. Giebt sie aber außer dem farbigen Licht auch weißes Licht beigemischt zurück, so ist sie ins Helle gesteigert.

§. 6.

Es giebt schwerlich Pigmente, welche die drei Grundfarben völlig rein und gesättigt darstellen. Doch nähern sich folgende dieser Beschaffenheit. Carmin giebt ein sehr reines Roth. Indigo, auch Berliner Blau, ein ziemlich reines Blau, und Gummi guttae ein ziemlich reines Gelb.

Aus der Mischung von zwei solchen Pigmenten lassen sich nun alle übrigen Farben mischen, und es giebt zwischen jeden zweien eine zusammengesetzte Hauptfarbe. Zwischen Roth und Gelb, Orange; zwischen Gelb und Blau, Grün; zwischen Blau und Roth, Violet. Eigentlich sollten gleiche

Theile jeder zwei der genannten Pigmente, die mittlere Hauptfarbe geben; aber sie besitzen nicht gleiche färbende Kraft, und man muß es daher dem geübten Auge des Farbenkünstlers überlassen, gerade diejenige Mittelfarben zu mischen, die genau das Mittel zwischen ihren Bestandtheilen halten.

§. 7.

Stellt man nun die drei Grundfarben nebst den zusammengesetzten drei Hauptfarben in einen kreisförmigen Ring, wie Fig VI. andeutet, zusammen, so erhält man einen Farbenkreis, über welchen sich mehrere merkwürdige Betrachtungen anstellen lassen.

1) Es ist merkwürdig, daß hier die sechs Hauptfarben, wenn man von Roth, zu Orange, Gelb rc. fortgeht, hier in derselben Ordnung erscheinen, wie in dem prismatischen Farbenbilde, nur daß, wie oben bemerkt worden, das prismatische Roth schon etwas ins Gelbe gezogen ist.

2) Wenn man zwischen jeden zwei Grundfarben nicht bloß eine Mittelfarbe einschaltete, sondern sie unmerklich in einander übergehen ließe, so würde man dadurch eine vollständige Uebersicht aller Farben im gesättigten Zustand erhalten, von denen wieder jede bis ins Weiße und Schwarze gesteigert werden könnte, um eine Uebersicht aller Töne jeder Farbe zu erhalten. Indessen würde es freilich nicht leicht seyn, diese Arbeit mit Genauigkeit auszuführen, so daß nämlich

alle Farben mit mathematischer Genauigkeit in einander übergingen. Doch findet man sehr gute Vorbereitungen dazu in Lamberts Beschreibung einer mit Calauschem Wachs ausgemahlten Farben-Pyramide; indem er die färbende Kraft der Haupt-Pigmente durch Zahlen zu bestimmen versucht hat, woraus sich die Verhältnisse ergeben, in denen man allmälig jede zwei Pigmente mischen müßte, um eine beliebige Anzahl von Zwischenstufen zu erhalten.

§. 8.

Außer diesen Bemerkungen lassen sich noch andere Folgerungen aus der Hypothese von den drei Grundfarben ableiten, welche in Verbindung mit dem Farbenkreise Versuche veranlassen, durch welche die Richtigkeit der Hypothese geprüft werden kann. Ehe wir aber diese Folgerungen darlegen, wird es zweckmäßig seyn, die Art und Geräthschaft der Versuche zu beschreiben.

Newton hatte schon die Idee, Pigmente der sieben Hauptfarben zu mischen. Er gesteht aber mit der Wahrheitsliebe, die ihn überall auszeichnet, daß er dadurch nicht Weiß, sondern ein schmutziges Grau erhalten habe. Aber er täuschte sich hier bei seinen Schlüssen. Denn da jede Farbe nur ein Theil des weißen Lichtes ist, so kann eine Mischung von Pigmenten nie Weiß, sondern sie muß Grau geben. Noch sinnreicher haben andere nach ihm die prismatischen Farben so gut,

als es sich thun ließ, auf sieben (ungleiche, und nach dem prismatischen Farbenbild) abgemessene Ausschnitte einer Scheibe gebracht, und diese schnell umgedreht. Denn da der Eindruck des Lichts nicht augenblicklich im Auge verschwindet, so ist es nicht schwer, die Scheibe so schnell umzudrehen, daß der erste Eindruck einer Farbe noch nicht verschwunden war, wenn die Farbe zum zweitenmal an dieselbe Stelle kam. Der Erfolg dieses Versuchs war aber gerade wie der des Newtonischen. Man erhielt Grau, und hielt dieses ohne Grund für einen mit der Newtonischen Theorie schwer zu vereinigenden Umstand.

Die Versuche, auf die es hier ankommt, sind von ähnlicher Art, und wir werden sehen, daß sich der Erfolg sehr gut an die Hypothese anschließt, wofern man die obigen Bemerkungen über Weiß, Grau und Schwarz (§. 4.) richtig anwendet. Folgende höchst einfache Geräthschaft, welche in F. VII. vorgestellt ist, leistet alles Erforderliche.

Man lasse sich mehrere kreisförmige Scheiben von einem etwas schweren und glatten Holz von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll Durchmesser drehen. AB ist ein Durchschnitt derselben. In der Mitte ist sie durchbohrt, und in die Oeffnung eine Schraubenmutter eingeschnitten. In diese wird die Achse CD eingeschraubt, die unterwärts kurz ist, und sich in einer stumpfen Spitze bei D endigt; oben ist sie $1\frac{1}{2}$ bis 2 Zoll lang, dünn und cylindrisch.

Bei

Bei EF hat sie eine über die Scheibe greifende Wulst.

Man sieht leicht, daß diese Geräthschaft nichts anders ist, als ein Kreisel, den man auf einem ebenen Tisch durch schnelle Umdrehung der Achse, auf die unsern Kindern bekannte Art, leicht in eine sehr schnelle Bewegung versetzen kann.

Es gehören ferner zu den Versuchen sechs Blätter Papier, die durch eine geübte Hand sehr gleichförmig illuminirt sind; drei mit den drei Grundfarben, und drei mit den der zusammengesetzten Hauptfarben. Alle diese Farben müssen aufs möglichste in gleicher Höhe des Tons aufgetragen seyn, und es ist zweckmäßiger einen etwas hellen, als dunkeln oder völlig gesättigten Ton zu wählen. Will man sich außer diesen sechs Blättern noch drei mit gesättigtem oder dunklern Ton illuminiren lassen, so können die Versuche noch mehr vervielfältigt werden.

Der Gebrauch aller dieser Geräthschaften besteht darin, daß man Halbkreise vom Durchmesser der Scheibe aus den farbigen Papieren schneidet, und um den Mittelpunkt so viel wegnimmt, als derselbe Durchmesser der Achse unter der Wulst beträgt. Lüftet man dann ein wenig die Achse, so kann man die Mitte eines solchen Halbkreises unter die Wulst schieben, und durch Anziehen der Schraube befestigen. Liegt er am Rande nicht gehörig auf, so kann man ihn mit

etwas Wachs befestigen. Hat man nun mehrere solche verschieden gefärbte Halbkreise, so kann man deren zwei, drei oder mehrere befestigen, und sie so legen, daß sie zum Theil einander decken, so daß nur bestimmte Abschnitte jeder Farbe sichtbar bleiben. Dreht man dann den Kreisel, so vermischen sich die Eindrücke der Farben vollständig, und man erhält den Eindruck der aus ihnen zusammengesetzten.

Wir wollen diesen Kreisel den Farbenkreisel nennen. Es ist zweckmäßig deren mehrere zu haben, damit man ein einmal aufgefundenes Farben-Verhältniß festhalten könne.

§. 9.

Erster Versuch. Man lege drei Halbkreise von den drei Grundfarben auf den Kreisel, und schiebe sie so, daß gleiche Ausschnitte (zu 120°) von jeder sichtbar bleiben. Dreht man den Kreisel, so verschwinden die Farben, und die Scheibe erscheint grau. Sind die Farben gesättigt, so ist das Grau ziemlich dunkel, und daher ist es zweckmäßig, die Farben in einem etwas hellen Ton zu nehmen.

Schon dieser einzige Hauptversuch spricht sehr entscheidend für die Hypothese von den drei Grundfarben; und da man bei gleichem Farbenton ziemlich gleiche Abschnitte machen muß, so wird es sehr wahrscheinlich, daß in dem weißen Sonnenlicht gleich viel von jeder Grundfarbe enthalten

sey. Ist dieses richtig, so folgt, daß jede dieser Farben, im gesättigten Zustand, nur $\frac{1}{3}$ des Lichts zurückgiebt, was sie empfängt. Ist nun der Kreis mit gesättigten Farben belegt, so ist klar, daß er beim Umdrehen auch nur $\frac{1}{3}$ des weißen Lichts, was er empfängt, zurückgiebt, d. h. er wird, in Vergleichung gegen eine weiße Scheibe, als ein ziemlich tiefes Grau erscheinen, ungefähr so, wie man es aus einem Theil Weiß und zwei Theilen Schwarz erhalten würde.

Hat man einen hellern Ton gewählt, d. h. einen solchen, der nicht bloß farbiges Licht, sondern auch eine Beimischung von weißem enthält, so wird auch das Grau einen hellern Ton erhalten. Ja man würde die Höhe des Tons ungefähr durch Zahlen bestimmen können, wenn man auf einem andern Kreisel zwei schwarze und einen weißen Halbkreis, oder bei sehr hellen Tönen zwei weiße und einen schwarzen Halbkreis befestigte, und das Verhältniß von Schwarz und Weiß so lange abänderte, bis er mit dem Farben-Kreisel gleiches Grau gäbe.

Wenn bei dem Farbenkreisel das Grau noch in eine Farbe spielte, so müßte man den Abschnitt dieser Farbe ein wenig verkleinern. Man sieht leicht, daß der vollkommenste Erfolg der Versuche hauptsächlich davon abhängt, daß die Farben gleichen Ton haben, was allerdings nicht ganz leicht zu erhalten ist. Indessen wird doch

auch bei kleinern Abweichungen in der Färbung der Versuch einen so annähernden Erfolg geben, daß man die Richtigkeit der Hypothese nicht bezweifeln kann.

§. 10.

Zweiter Versuch. Wenn man die drei zusammengesetzten Hauptfarben im Farbenkreis betrachtet, so ist klar, daß auch sie die drei Grundfarben, und zwar in gleicher Menge, erhalten. Belegt man daher den Kreisel mit diesen Farben in gleichen Abschnitten, so müssen auch sie Grau geben.

Der genauere Erfolg ist unsicherer, als bei dem ersten Versuch, weil hier außer dem gleichen Ton noch erforderlich ist, daß jede zusammengesetzte Farbe genau das Mittel zwischen den Grundfarben sey, aus welchen sie gemischt ist.

§. 11.

Dritter Versuch. In dem Farbenkreis liegt jeder Grundfarbe eine zusammengesetzte gerade gerade gegenüber, die aus den beiden andern Grundfarben gemischt ist. So liegt dem Roth gegenüber Grün, das aus Blau und Gelb besteht. Es sind also schon in zwei gegenüberliegenden Farben, alle Grundfarben enthalten, aber bei gleichem Ton und Flächenraum enthält die zusammengesetzte von jeder ihrer beiden Grundfarben nur halb so viel, als die gegenüber liegende Grundfarbe.

Belegt man daher den Kreisel mit zwei Halb-

kreisen der zusammengesetzten, und einem der einfachen Farbe, so geben auch diese bei dem Umdrehen Grau. Man wird vielleicht auch hier die Verhältnisse beider Farben etwas abändern müssen, wenn Ton und Mischung nicht genau getroffen sind.

Was hier von Roth und Grün gezeigt worden, gilt auch von Gelb und Violet, desgleichen von Blau und Orange.

§. 12.

Wir haben in dem Farbenkreise jedes Drittel desselben nur in zwei Theile getheilt. Theilte man jedes Drittel in drei, vier, fünf oder mehrere Theile, belegte dann drei gleich weit von einander entfernte Flächen mit den Grundfarben, und ließe in den Zwischenfächern die eine Grundfarbe durch ganz gleiche Stufen in die andern übergehen, so ist leicht einzusehen, daß auch jetzt noch jede zwei einander gegenüber liegende Farben alle drei Grundfarben enthalten würden. Man nennt zwei solche Farben ergänzende (complementäre), auch entgegengesetzte.

Es ist merkwürdig, daß nach der Bemerkung des Hrn. v. Göthe, zwei entgegengesetzte Farben neben einander, allezeit einen gefälligern Eindruck auf das Auge machen, als zwei näher zusammenliegende.

Mehrere Naturforscher haben in den entgegengesetzten Farben auch eine entgegengesetzte chemische Kraft (eine oxydirende und desoxydirende)

wahrnehmen wollen. Die Sache verdient genaue Untersuchung, aber die Versuche haben viele Schwierigkeit.

§. 13.

Vierter Versuch. Wenn man die Grundfarben in sehr ungleichem Maaße auf den Kreisel bringt, so zeigt sich nicht Grau, sondern diejenige Farbe, oder eine Mischung derjenigen Farben, die im Ueberschuß da sind, nur in einem viel hellern Ton.

So giebt z. B. ein Halbkreis Roth, mit zwei Viertkelreisen Blau und Gelb verbunden ein helles Roth.

Desgleichen zwei Ausschnitte Blau und Gelb jeder von 135° mit einem Ausschnitt von 90° Roth verbunden, geben ein helles Grün.

Im letzten Fall verbinden sich nämlich 90° Roth, 90° Blau und 90° Gelb zu weißem Licht, und nur die übrigen 45° Blau und 45° Gelb verbinden sich zu Grün, was aber durch das beigemischte weiße Licht ins Helle gesteigert ist.

Diese Versuche lassen sich, wie man leicht sieht, sehr vervielfältigen, und der Erfolg stimmt überall so gut mit der Hypothese zusammen, als es nur bei der unvermeidlichen Unvollkommenheit der Färbung zu erwarten ist.

§. 14.

Man ersieht hieraus, daß unser Auge durchaus nicht im Stande ist zu unterscheiden, ob eine

Farbe wirklich einfach, oder zusammengesetzt sey. Denn aus dem im vorigen §. erwähnten Versuche ist klar, daß auch ein reines Roth, Gelb und Blau durch die Mischung von allen drei Grundfarben hervorgebracht werden könne.

Anm. Hieraus begreift man wenigstens im Allgemeinen die Möglichkeit, wie im prismatischen Farbenbilde (nach §. 2.) in jedem Punkt eine zusammengesetzte Farbe, und doch in zwei Stellen reines Gelb, und reines Blau vorhanden seyn könne. Uebrigens bemerkte schon Lambert in seiner Beschreibung einer Farben-Pyramide, daß es bei der Annahme von drei Grundfarben dunkel sey, auf welche Art sie an dem prismatischen Farbenbilde vertheilt sind. Der Verfasser wird seine Gedanken hierüber an einem andern Ort vortragen. Allerdings wird die Entstehung aller einzelnen Farben in dem prismatischen Bilde etwas anders ausfallen müssen, als sie Newton und andere nach ihm gegeben haben, aber es wird sich auch zeigen, daß das in diesem Capitel Vorgetragene in gar keiner Opposition, gegen das Wesentliche der Newtonischen Farbenlehre stehe, sondern sich freundlich an dieselbe anschließe, ja durch die von Newton entdeckte verschiedene Brechbarkeit des Lichts, seine volle Aufklärung erhalte.

Von der sogenannten Polarisation des Lichts.

§. 15.

Ein französischer Naturforscher Hr. Malus hat eine Menge sehr feiner Beobachtungen über das Licht gemacht, die von andern wiederholt, bestätigt, erweitert worden sind, und noch jetzt den Scharfsinn vieler Naturforscher beschäftigen. Das

Allgemeine, was aus diese Beobachtungen hervorgeht läßt sich auf folgende Art ausdrücken.

Ein Lichtstrahl der unmittelbar von der Sonne oder vom Tageslicht kommt, richtet sich bei allen Zurückstrahlungen und Brechungen, in welcher Richtung sie auch geschehen, nach den oben erklärten Grundgesetzen der Katoptrik und Dioptrik. Aber durch gewisse genau bestimmte Arten von Zurückstrahlung oder Brechung, kann ein Strahl die sonderbare Beschaffenheit annehmen, daß er nur noch in gewisse Richtungen ganz regelmäßig zurückgestrahlt, oder gebrochen werden kann, in andern hingegen sich anders verhält.

Obgleich diese Beobachtungen bis jetzt nichts zur Aufklärung allgemeiner optischer Erscheinungen beigetragen haben, so sind sie doch an und für sich äußerst merkwürdig, da sich in ihnen etwas ganz Eigenthümliches in der Mechanik des Lichts offenbaret. Der Entdecker hat den Inbegriff aller dahin gehörigen Eigenschaften (nicht sehr schicklich) die Polarisation des Lichts genannt. Die hier zu beobachtenden Gränzen erlauben uns nur ein Paar Erscheinungen zu erklären, die aber als die Haupterscheinungen in dieser Art zu betrachten sind.

Polarisation des Lichts durch Zurückstrahlung.

§. 16.

Wir haben oben (E. 42. §. 6. n. 3.) bemerkt, daß von einem Lichtstrahl, der auf die polirte

Oberfläche eines durchsichtigen Körpers fällt, ein Theil reflectirt wird. Fallen Strahlen auf eine solche Fläche unter gewissen bestimmten Winkeln auf, so befolgen sie zwar das allgemeine Gesetz der Katoptrik, aber die zurückgeworfenen Strahlen befolgen nicht mehr in allen Richtungen die allgemeinen Gesetze, d. h. sie sind polarisirt.

Um dem Lehrling der Wissenschaft einen möglichst anschaulichen Begriff von der Sache zu geben, wollen wir zeigen, wie das Licht durch Zurückstrahlung von Spiegelglas polarisirt werde. Zu dem Ende wollen wir aber zuerst das Wesentliche von dem Biot'schen Instrument, wodurch sich die Erscheinungen mit Sicherheit beobachten lassen, beschreiben.

§. 17.

ABCD (Fig. VIII.) ist eine Röhre von Messing, 6 bis 8 Zoll lang, von zweizölligem, oder noch größern Durchmesser. Bei N ist sie auf einen (nicht gezeichneten) Fuß so befestigt, daß man sie in alle Richtungen bringen, auch um ihre eigene Achse drehen kann. Bei E stelle man sich zwei gerade Stäbe EF zu beiden Seiten befestigt. Zwischen ihren Enden ist ein sogenannter Tuschspiegel GH von gemeinem Spiegelglas, so befestigt, daß man seine Neigung gegen die Achse beliebig verändern, und ihn in jeder Lage feststellen kann. Zu dem Ende kann man an dem einen Arm EF einen eingetheilten (in der Zeichnung weggelassenen)

Quadranten befestigen, an welchen sich der Spiegel in jeder Lage befestigen läßt, und der zugleich die Neigung des Spiegels zeigt. Der Spiegel selbst hat die Gestalt eines länglichen Rechtecks, besteht aus einer polirten Spiegelplatte, ist unterwärts mit einem schwarzen Ueberzug belegt, damit von dieser Fläche kein Licht zurückstrahlen könne. Die obere spiegelnde Fläche kehrt er der Röhre zu. Die Röhre ist bei AB offen, kann aber mit einer runden Scheibe bedeckt werden, die in der Mitte eine ganz kleine Oeffnung (etwa von $\frac{1}{20}$ Zoll Durchmesser) hat. Bei CD ist die Röhre ganz offen, und äußerlich mit einem Ring CD umgeben, der sich nach allen Richtungen umdrehen läßt. An diesem Ring, nicht an der Röhre, sind wieder zwei gerade Arme befestigt, zwischen dem sich ein Spiegel LM in alle Richtungen gegen die Achse bringen läßt. Dieser Spiegel und überhaupt die Vorrichtungen auf dieser Seite, sind den auf der andern Seite beschriebenen ganz ähnlich. Auch er kehrt seine spiegelnde Oberfläche der Röhre zu, die hier beständig offen bleibt. Es ist vortheilhaft diesen Spiegel bei gewissen Versuchen mit einem ungeschwärzten Spiegelglase, durch welches das Licht ungehindert durchgehen kann, vertauschen zu können.

§. 18.

Der Hauptversuch, der mit dieser Geräthschaft gemacht werden kann, ist folgender.

Man bedecke die Oeffnung AB mit der Scheibe,

und gebe dem Spiegel GH eine Neigung von ungefähr 35° gegen die Achse der Röhre. (Nach Malus erhält man die stärkste Wirkung bei 35° 25′). Bei dieser Stellung können nur solche Lichtstrahlen PF, die auf die Spiegelfläche unter dem oben gedachten Winkel auffallen, durch die kleine Oeffnung bei E gehen, und bis zum andern Spiegel LM gelangen. Diesem zweiten Spiegel gebe man dieselbe Neigung gegen die Achse, und stelle ihn durch Umdrehen des Ringes CD so, daß beide Spiegel einander parallel sind. Bei dieser Stellung wird der vom ersten Spiegel zurückgeworfene Strahl FK, den zweiten unter demselben Winkel treffen, und dann nach dem katoptrischen Grundgesetz in der Richtung KQ parallel mit FP zurückgeworfen werden. Hat man nun das Instrument so gerichtet, daß der Spiegel GH das Licht des freien Himmels empfängt, und ein Auge bei Q sieht in den zweiten Spiegel, so erblickt es in der Richtung QK, ganz den gewöhnlichen Gesetzen gemäß ein Bild der bei E befindlichen kleinen Oeffnung.

Dreht man aber nun den Ring CD um einen Viertelkreis herum, so wird dadurch des Spiegels Neigung gegen die Achse nicht geändert, und der Strahl FK sollte nun, in KQ unter einem Winkel von ungefähr 35°, nur nicht wie in der Figur unterwärts, sondern seitwärts zurückgeworfen werden. Ist aber die Oeffnung bei E nicht zu

groß, so erblickt man im zweiten Spiegel entweder gar kein Bild derselben, oder ein äußerst mattes. Dreht man den Ring CD um einen zweiten Viertelkreis weiter, so daß nun der zweite Spiegel seine Fläche aufwärts kehrt, so erblickt man wieder das Bild der Oeffnung eben so deutlich als in der ersten Stellung. Dreht man den Ring CD um einen dritten Viertelkreis weiter, so verschwindet wieder das Bild der Oeffnung. Bringt man endlich den Spiegel LM wieder in seine erste Lage, so ist die Erscheinung wieder wie anfangs. Sieht man während des Umdrehens in den Spiegel, so nimmt während der Drehung im ersten Quadranten das Bild der Oeffnung stetig ab; im zweiten Quadranten nimmt es wieder zu, im dritten ab, und im vierten wieder zu.

Wird der Versuch mit einem andern als dem angegebenen Einfallswinkel wiederholt, so zeigt sich derselbe Erfolg, nur schwächer, wenn der Einfallswinkel nicht viel von 35° verschieden ist. Weicht er aber beträchtlich ab, so zeigt sich das Bild der Oeffnung bei allen Stellungen des zweiten Spiegels in gleicher Stärke.

Setzt man statt des Spiegels LM eine durchsichtige Spiegelplatte ein, und beobachtet das durchgehende Licht, so zeigt sich, daß in der Stellung, wo die Oeffnung vermittelst der reflectirten Strahlen verschwindet, alles Licht ungeschwächt durch das Glas hindurch geht.

§. 19.

Man sieht hieraus, daß der vom ersten Spiegel unter dem angegebenen Winkel reflectirte Strahl FK nicht nach allen Richtungen unter demselben Winkel zurückgeworfen werden kann. Um aber die Regel dieser Erscheinung mit mathematischer Bestimmtheit aufzulösen, muß man zuerst in Gedanken durch FP und FK eine Ebene legen. Eben diese Ebene geht auch durch das Einfallsloth, das man bei F errichten kann, und sie steht daher winkelrecht auf dem Spiegel GH. Eben diese Ebene steht daher auch auf dem Spiegel LM winkelrecht, wenn er entweder mit GH parallel liegt, oder um einen Halbkreis herumgedreht ist. Diese Ebene ist es also, in welcher der Strahl FK ganz regelmäßig zurückgeworfen werden kann. Nun lege man aber durch den Strahl FK eine zweite Ebene winkelrecht auf der vorigen, so ist klar, daß sich der zurückgeworfene Strahl, am Ende des ersten und dritten Quadranten in dieser befinden sollte. Da aber die Oeffnung bei diesen Lagen des Spiegels verschwindet, so ist klar, daß der Strahl in diesen Richtungen nicht reflectirt werden könne, sondern daß er ganz durch das Glas hindurch gehe.

§. 20.

Ein polarisirter Strahl wie FK hat also in der That vier Seiten; in zweien kann er auf die gewöhnliche Art reflectirt werden, in den bei-

den andern gar nicht unter dem angegebenen Einfallswinkel.

Es kann aber ein Strahl durch die Zurückstrahlung, nicht bloß von Glas, sondern auch von andern durchsichtigen, ja selbst undurchsichtigen Körpern polarisirt werden. Nur ist der Winkel, unter welchem die stärkste Wirkung erfolgt, bei verschiedenen Körpern verschieden. Bei dem Wasser beträgt er z. B. nach Malus nicht 35° 25′, sondern 37° 15′. Hieraus ist aber klar, daß sich unter dem allgemeinen Tageslicht viel polarisirtes befinden kann, und daß von solchem Licht, was von einer ausgebreiteten Ebene zurückgeworfen wird, in einer bestimmten Richtung, polarisirte Massen seyn können.

Es ist klar, daß man das beschriebene Biotsche Instrument leicht so einrichten könne, daß es zu vielerlei Versuchen über diesen Gegenstand brauchbar wird.

Polarisirung des Lichts durch Brechung.

§. 21.

Daß man durch krystallisirten Kalkspath (Isländischen Doppelspath), die Gegenstände doppelt sehe, war längst bekannt. Huighens aber war der erste, der sehr genaue Beobachtungen und scharfsinnige mathematische Untersuchungen über diese Erscheinung anstellte. Das Hauptergebniß dieser Untersuchung ist, daß jeder Lichtstrahl sich im

Krystall, in zwei allem Ansehn nach gleiche Strahlen spaltet, die einen kleinen Winkel (von ungefähr 6° 40') mit einander machen. Einer dieser Strahlen wird vollkommen nach dem dioptrischen Grundgesetz, im Verhältniß 5 : 3 gebrochen. Der andere befolgt ein ganz eigenthümliches sonderbares Gesetz. Dasjenige, welches Huighens angiebt, ist keiner einfachen Darstellung empfänglich. Da aber allen Naturerscheinungen höchst einfache Naturgesetze zum Grunde zu liegen scheinen, so darf man hoffen, daß es noch gelingen werde, eine einfachere Ansicht dieser ungewöhnlichen Brechung zu entdecken. Neuerlich hat Hr. Malus die Entdeckung gemacht, daß diese beiden Strahlen gegen einander in einem sogenannten polarisirten Verhältniß stehen, wodurch die Erscheinung für die Wissenschaft wichtiger geworden ist.

Die engen Gränzen eines Grundrisses nöthigen uns hier nur das allerwichtigste dieser Untersuchungen zu erwähnen. Wer genauer unterrichtet seyn will, findet eine vortreffliche und sehr gründliche Abhandlung in Biots Traité de Physique expérimentale et mathématique. Auch findet man in Gilberts Annalen (Band 31, 32, 37, 38, 46 ꝛc.) eine Menge einzelner Abhandlungen über diesen Gegenstand.

§. 22.

Es sey BG Fig. IX. das Rhomboides, welches nach Cap. 9. §. 3., die Kerngestalt des kry-

stallisirten Kalkspathes ist. Zieht man durch die beiden Ecken bei A und E, die durch drei gleiche stumpfe Winkel (von 101° 52′) gebildet werden, die Linie AE, so heißt diese die Achse des Rhomboides.

Legt man durch diese und eine der Kanten, welche die stumpfen Ecken bilden, z. B. durch AD eine Ebene AHED, so geht diese, wie leicht einzusehen, auch durch die gegenüber liegende Kante HE. Sie durchschneidet die parallelen Rhomben in den Diagonalen AH und DE, und halbirt ihre Winkel bei A, D, H und E, so wie auch die Neigungswinkel der Seitenflächen, die sich in den Kanten AD und HE schneiden. Endlich steht sie auf den parallelen Flächen ABHG und DFEG winkelrecht. Diese Ebene, und jeden, ihr parallelen Durchschnitt, nennt man den zu den parallelen Ebenen ABHG und DFEG gehörigen Hauptschnitt.

§. 23.

Folgende Beobachtungen sind geeignet, das wesentlichste der doppelten Brechung bemerklich zu machen.

1) Man ziehe auf einem weißen Blatt Papier zwei Linien KL und MN Fig. X. die sich winkelrecht in I schneiden. Auf diese lege man ein durchsichtiges Stück Kalkspath so, daß eine derselben KL gerade unter den Hauptschnitt, oder auch nur parallel mit demselben zu liegen kommt.

Hält

Hält man nun das Auge winkelrecht über I, so erblickt man die Linie KL einfach, von der andern Linie sieht man zwei Bilder MN und mn, von denen dasjenige, welches mit den unter dem Krystall hervorragenden Enden der Linie eine einzige Linie bildet, durch regelmäßig gebrochene Strahlen gebildet wird. Wir nehmen an, dieses sey MN, so entsteht das andere Bild mn durch die ungewöhnlich gebrochenen Strahlen. In der Lichtstärke beider Bilder ist kein Unterschied wahrzunehmen.

2) Dreht man bei ungeänderter Stellung des Auges den Krystall um den Punkt I, so tritt auch aus KL ein Nebenbild hervor, und entfernt sich bis zu einer gewissen Gränze von KL. Unterdessen rücken aber die Bilder MN und mn näher zusammen, und decken einander, sobald die Linie MN dem Hauptschnitt parallel geworden ist. Fährt man mit Umdrehen fort, so wiederholen sich diese Erscheinungen innerhalb jedes der vier rechten Winkel, die um I liegen. Es ist hieraus klar, daß auch das anfänglich einfache Bild KL aus zwei sich deckenden besteht.

3) Bei ungeänderter Stellung des Auges über I ändert dieser Durchschnittspunkt seine Lage nicht. Dagegen bewegt sich der Punk i, wo sich die Bilder der ungewöhnlichen Brechung schneiden, rund um I herum, ungefähr in einer Kreislinie.

4) Bewegt man das Auge in der Richtung KL gegen K oder L, so bleibt das Bild von KL

einfach, und das von MN doppelt. Bewegt man aber das Auge in der Richtung MN gegen M oder N, so wird auch das Bild von KL doppelt.

§. 24.

Nun sey AHCD Fig. XI. der (in Fig. IX. mit denselben Buchstaben bezeichnete) Hauptschnitt des Krystalls, und CD liege auf der Linie LK (die mit der Fig. X. eben so bezeichnete Linien einerlei ist, so wie auch in beiden Figuren die Punkte I und i, dieselben seyn mögen). Nimmt man nun an, daß ein Lichtstrahl von der unten liegenden Fläche LK winkelrecht auf den Punkt I treffe, so folgt aus den vorigen Beobachtungen, daß sich dieser Strahl im Krystall, in zwei (allem Anschein nach gleiche) Theile IR und IQ spalte, welche beide in denselben Ebenen des Hauptschnittes AE liegen. IR geht nach dem allgemeinen dioptrischen Grundgesetz ungebrochen durch den Krystall, und leidet auch in R keine Brechung. Der zweite Theil IQ aber macht mit IR einen Winkel von ungefähr 60° 40′, und zwar nach derjenigen Seite, nach welcher sich die Kanten AD und HE neigen. Dieser Strahl, wird gegen das dioptrische Grundgesetz in Q so gebrochen, daß er den ungebrochenen Theil des Strahls in einem Punkt P durchschneidet. Befindet sich hier ein Auge, so erblickt es ein Bild des Punktes I in der Verlängerung des Strahls PQ nämlich in i. Ist nun I (Fig. XI. u. X.) der Punkt, in welchem KL von einer win-

kelrechten Linie MN geschnitten wird, so ist i der Punkt, wo das Nebenbild mn dieser Linie die KL schneidet.

Dreht man nun den Krystall, um die Linie PI als um eine Achse, so scheint der Strahl IQ den Hauptschnitt nicht zu verlassen, auch scheint sich der Winkel QIR nicht zu ändern; und so beschreibt IQ beim Umdrehen eine Kegelfläche um IR, und daher i einen Kreis um I. Sobald aber der Punkt i aus der Linie KL herausgerückt ist, so erscheint ein mit LK paralleles Nebenbild dieser Linie.

Obgleich das Gesagte nur von Strahlen gilt, die auf die untere Fläche des Krystalls senkrecht fallen, so genügt es doch für unsern gegenwärtigen Zweck, weil der Beobachter dadurch in den Stand gesetzt wird, in jedem Falle die Bilder, welche der gewöhnlichen oder ungewöhnlichen Brechung angehören, bestimmt von einander zu unterscheiden. Doch kann man durch aufmerksame Beachtung der im vorigen §. bei Nr. 4. angegebenen Beobachtungen sich leicht eine anschauliche Vorstellung, von der Lage des ungewöhnlichen Strahls, bei jeder Lage des einfallenden Lichts machen, wenn man nur bei jeder Stellung des Auges auf die Lage der Durchschnittspunkte I und i achtet, wo sich die gewöhnlichen und ungewöhnlichen Bilder der Kreuzlinie schneiden.

§. 24.

Daß die beiden gespaltenen Theile des Strahls

in dem oben (§. 15.) erklärten Sinn polarisirt sind, ergiebt sich besonders deutlich aus folgendem Versuch.

Man setze einen Kalkspath Rhomboiden, so wie es §. 23. beschrieben worden, auf zwei sich winkelrecht schneidende Linien, und zwar so, daß eine derselben dem Hauptschnitt parallel ist. Dann setze man einen zweiten Kalkspath-Krystall auf den ersten, oder halte ihn auch in einer kleinen Entfernung über demselben, doch so, daß die brechenden Flächen parallel sind. Wird dieser zweite Krystall so gestellt, daß die Hauptschnitte beider parallel sind, so zeigt sich, daß die beiden gespaltenen Strahlen im oberen Krystall gerade so wie im untern gebrochen werden; nämlich der regelmäßige Strahl auch im obern Krystall regelmäßig, der ungewöhnliche aber eben so im obern Krystall. Legt man aber den obern Krystall so, daß die beiden Hauptschnitte winkelrecht gegen einander stehen, so werden im obern Krystall die beiden Strahlen gerade umgekehrt gebrochen; nämlich der ungewöhnliche Strahl, nach dem gewöhnlichen Brechungsgesetz, und der gewöhnliche nach dem ungewöhnlichen; so daß jeder dieser Strahlen in zwei Richtungen die winkelrecht auf einander sind, im untern und obern Krystall ein ganz entgegengesetztes Verhalten zeigt.

§. 25.

Mit dem §. 17. beschriebenen Instrument lassen sich eine Menge merkwürdiger Versuche

über die Polarisirung des Lichts, nicht nur durch Zurückstrahlung, sondern auch durch Brechung anstellen, und man hat vermittelst desselben gefunden, daß das Licht allem Anschein nach bei dem Durchgang durch alle natürliche Krystallisationen polarisirt wird.

Man stelle das Instrument so, wie es nach §. 18. zu dem Hauptversuch erforderlich ist, und bringe den zweiten Spiegel in die zweite Stellung, wo das kleine Loch im Deckel der Röhre verschwindet. Man halte darauf vor dieses Loch ein Blättchen von durchsichtigem Glimmer, oder krystallisirtem Gyps (Fraueneis), Bergkrystall, Kalkspath ꝛc. und drehe dieses Blättchen um, so wird sich eine Lage finden, bei der das Bild des Lochs im oberen Spiegel wieder sichtbar wird, also die Polarisation des Lichts aufgehoben wird, welches nur vermittelst einer entgegengesetzten Polarisirung möglich ist.

Befestigt man aber innerhalb der Röhre über dem Loche des Deckels einen Kalkspath-Krystall, und dreht den Deckel mit dem Krystall um, so erblickt man bei gewissen Stellungen zwei Bilder des Lochs, bei andern Stellungen verschwindet das eine, bei noch andern das andere Loch. Eben das geschieht, wenn man die Stellung des Krystalls ungeändert läßt, dagegen den zweiten Spiegel herumdreht.

Versuche dieser Art, so wie andere in der

Folge zu erwähnende erhalten jetzt eine Wichtigkeit für die Krystallographie, indem man vermittelst derselben sicherer als durch geometrische Betrachtungen die Lage der Achse eines Krystalls bestimmen kann. Hr. v. Seebeck hat eine sehr lehrreiche Reihe von Versuchen dieser Art gemacht, die er hoffentlich bald dem Publikum mittheilen wird.

Farbenerscheinungen bei der Polarisirung.

§. 26.

Zuerst zeigt das polarisirte Licht ähnliche prismatische Farben, als das gemeine Licht.

Betrachtet man z. B. bei den im 23. §. beschriebenen Beobachtungen die Bilder der Linie genau, so zeigt sich an der einen Seite ein zarter gelber Saum, an der andern ein blauer, sobald man sie durch schief einfallendes, und ausgehendes Licht betrachtet. Noch sichtbarer wird diese Farbenzerstreuung, wenn man ein Prisma aus Kalkspath schleifen läßt, wo man zwei vollständige prismatische Farbenbilder durch die Brechung erhält.

§. 27.

Man hat aber in neueren Zeiten noch eine ganz eigenthümlichen Farben-Erscheinung, welche durch polarisirtes Licht entsteht, beobachtet, deren Gesetze aber noch nicht vollständig entdeckt sind.

Wenn man an dem Polarisirungs-Instrument (§. 17.) den Deckel der untern Röhren-Oeffnung abnimmt, und in der Röhre, oder außerhalb der-

selben einen Würfel, von schnell gekühltem Glase befestigt, so daß zwei parallele Seiten desselben winkelrecht auf der Achse des Rohrs stehen, wenn man ferner den oberen Spiegel in die erste oder dritte Stellung (§. 18.) bringt, und dann das Bild des Würfels in diesem Spiegel betrachtet, so erblickt man eine eigene Farbenerscheinung. In den vier Ecken des Würfels sieht man farbige Kreise inwendig blau mit gelbem Saume. Zwischen diesen vier Kreisen bleibt ein heller kreuzförmiger Raum. Dreht man aber den oberen Spiegel in die zweite oder vierte Stellung, so hat man dieselbe Erscheinung, aber mit den entgegengesetzten Farben, und der kreuzförmige Zwischenraum ist dunkel. Eben diesen Wechsel der Erscheinungen kann man erhalten, wenn man bei ungeänderter Stellung der Spiegel den Würfel um die Achse des Rohrs dreht.

Fast noch sicherer, und mit lebhaftern Farben erhält man diese Erscheinungen, wenn man sich mehrere quadratische Stücke von schnell gekühltem Spiegelglas verschafft und diese, statt des Würfels auf einander gelegt, an dem Instrument anbringt, wo dann die Lebhaftigkeit der Farben mit der Anzahl der Gläser zunimmt.

Auch die natürlichen Krystallisationen bringen in gewissen Lagen dergleichen Farben-Erscheinungen hervor, und aus den Lagen, in welchen die Farben so oder so erscheinen, lassen sich

Schlüsse auf die Lage ihrer Krystallisations-Achse machen.

Anm. Ich habe oben §. 15. bemerkt, daß die Benennung Polarisation nicht schicklich gewählt sey. Der Grund ist, weil mehrere Verehrer der Schellingischen Natur-Philosophie, diese Polarisation (die nicht von ihrer Schule ausging), als einen recht augenscheinlichen Beweis, für die Wirklichkeit ihres Polaritäts-Gesetzes angesehen haben. In der That hat uns noch kein einziger Natur-Philosoph (wie sie sich nennen) einen scharf bestimmten Begriff von der Polarität gegeben, ohne welchen doch gar kein wissenschaftlicher Gebrauch möglich ist. Und vergleicht man die unendlich vielerlei Erscheinungen, auf welche sie ihren Begriff anwenden, und versucht daraus durch Abstraction denselben zu bestimmen, so bleibt in der That nichts übrig, als der Gegensatz von A und Non A, welches aber kein physischer, sondern ein logischer oder metaphysischer Gegensatz ist. Bestimmt man aber den Begriff bloß aus den magnetischen und elektrischen Erscheinungen, welche zuerst zu der Benennung Veranlassung gegeben haben, so ergiebt sich daraus ein Begriff, der auf die hier erklärten Erscheinungen des Lichts gar nicht paßt. Es zeigen sich nämlich dort zwei Arten von Kräften, die einzeln betrachtet auf ganz ähnliche Art wirken, zusammengebracht aber einander schwächen, oder aufheben. Hiervon zeigt sich aber in diesen optischen Erscheinungen keine Spur. Denn entkleidet man die hierher gehörigen Erscheinungen von allen Zufälligkeiten, so bleibt bloß folgende Erscheinung übrig: wenn man durch gewisse Strahlen zwei Ebenen so legt, daß sie sich winkelrecht schneiden, und der Strahl ihre Durchschnittslinie bildet, so verhält sich der Strahl in einer dieser Ebenen gegen Zurückstrahlung und Brechung anders als in der andern, und

es giebt eine bestimmte Lage der Ebenen, wo in der einen die Zurückwerfung oder Brechung vollständig, in der andern gar nicht erfolgt. Nun machen schon zwei solche Ebenen nicht einmal einen wahren localen Gegensatz, und noch weniger zeigt sich hier etwas von zwei solchen Kräften, welche in dem obigen Sinn entgegengesetzt wären. Offenbar müssen die Schellingianer erst einen scharf bestimmten Begriff ihrer Polarität geben, ehe sie wagen dürfen dieselbe für ein allgemeines Naturgesetz zu erklären. Daß in besondern Fällen, solche entgegengesetzte Kräfte vorhanden sind, ist allerdings nicht zu bestreiten.

Ueber die sogenannten zufälligen Farben, die Hr. v. Göthe recht schicklich physiologische nennt.

§. 28.

Es giebt Fälle, wo das Auge Farben sieht, ohne daß man sagen kann, daß farbiges Licht von außen ins Auge komme, wovon der Grund allerdings im Auge selbst liegt, also physiologisch seyn muß. Jedermann kennt die schönen blauen Schatten, die sich oft an einem Morgen, vor dem vollen Anbruch des Tageslichtes in einem Zimmer zeigen. Auch kennt jeder das Farben-Phantom, welches vor den Augen schwebt, wenn man in die Sonne, oder ein anderes sehr blendendes Licht gesehen hat, und dann die Augenlieder zuschließt. Es giebt eine sehr große Menge ähnlicher Erscheinungen, von welchen wir hier nur ein Paar näher erörtern können.

§. 29.

Einer der schönsten hierher gehörigen Versuche,

ist folgender, den Hr. v. Göthe in seiner Farbenlehre angiebt.

Man setze in einem dunkeln Zimmer zwei brennende Kerzen, ungefähr in gleicher Entfernung von dem Beobachter, und etwa gegen $1\frac{1}{2}$ Fuß von einander entfernt, auf den Tisch. Dann lege man einen Bogen weißes Papier zwischen sich und die Lichter auf den Tisch, und halte ein dünnes Stäbchen, ungefähr senkrecht auf die Mitte des Papiers, so erhält man begreiflich von denselben zwei Schattenbilder, welche nicht schwarz, sondern grau sind, weil das Schattenbild, welches das eine Licht verursacht, durch das andere erleuchtet wird. Hält man aber jetzt vor die eine Lichtflamme ein etwas großes farbiges Glas, z. B. ein grünes, so daß die Farbe des ganzen Papiers dadurch einen Stich ins Grüne erhält, so erscheint der von diesem Licht erleuchtete Schatten in derselben Farbe, nur dunkler. Der andere Schatten hingegen erscheint ganz bestimmt in der entgegengesetzten Farbe; also in dem angenommenen Fall roth. Ist die Glasscheibe roth, so ist der zweite Schatten grün. Ist die Scheibe blau, so ist der zweite Schatten orangefarben u. s. f.

Es lassen sich hiermit eine Menge anderer Beobachtungen verbinden.

Wenn man auf ein Blatt Papier, von einer lebhaften Farbe, kleine Stückchen oder sehr schmale Streifen von grauem Papier legt, so bekommen diese allezeit einen Stich in die entgegengesetzte Farbe.

Wenn man eine farbige Glastafel so gegen ein Fenster hält, daß sich dieses sowohl auf der oberen, als unteren Fläche abspiegelt, so erscheinen die Ränder des unteren Bildes, wo es ein wenig über das obere hervorragt, allezeit in der entgegengesetzten Farbe des Spiegelglases.

Man halte ein Blättchen Papier von einer recht reinen und lebhaften Farbe so, daß es stark erleuchtet ist, gegenüber aber sich eine recht weiße Wand befindet. Sieht man dann dieses Blatt scharf an, und zieht es dann schnell weg, so erblickt man auf dem weißen Hintergrund, im ersten Augenblick, einen Fleck von der entgegengesetzten Farbe u. dgl. m.

§. 30.

So verschieden auch diese Erscheinungen sind, so lassen sie doch folgende sehr genügende Erklärung zu, wodurch sie unter einen einzigen gemeinschaftlichen Gesichtspunkt gestellt werden.

Es ist eine Thatsache, daß das Licht die Empfindlichkeit des Auges abstumpft, die Dunkelheit aber erhöht. Jeder der aus einem sehr hellen Zimmer in ein dunkles geht, und umgekehrt, macht die Erfahrung an seinen eigenen Augen. Der Eindruck nämlich, welchen das Licht auf das Auge macht, verschwindet nicht in demselben Augenblick, wo das Licht aufhört einzuwirken. Und je heftiger das Licht gewirkt hat, desto stärker, desto dauernder ist der Eindruck, den es zurückläßt, und eben diese noch fortdauernde Wirkung ist es, welche das Vermögen

neue schwächere Lichteindrücke zu empfinden abstumpft. Daß nicht bloß ein weißes, sondern auch ein lebhaftes farbiges Licht so wirke, ist Erfahrung. Verbindet man aber mit diesen Thatsachen die an sich nicht unwahrscheinliche Hypothese, daß farbiges Licht, die Sehkraft nur für diese Farbe schwäche, nicht aber für das übrige farbige Licht, wodurch jenes zu Weiß ergänzt wird, so erklären sich die angegebenen Erscheinungen auf die ungezwungenste Art. Denn wenn z. B. in der ersten im vorigen §. angegebenen Beobachtung das ganze Papier grün beleuchtet ist, so wird dadurch die Sehkraft für Grün, aber nicht für die ergänzende Farbe Roth geschwächt. Betrachtet nun das Auge den zweiten Schatten, der offenbar bloß graues Licht (d. i. geschwächtes Weiß) ins Auge sendet, so erhält es in diesem Licht alle drei Grundfarben, aber die Empfindlichkeit für Grün (d. i. für Blau und Gelb) ist geschwächt, und so muß die Empfindung des Rothen vorwalten, und der Schatten in dieser Farbe erscheinen. Man sieht leicht, daß die übrigen angeführten Erscheinungen ganz ähnliche Erklärungen zulassen.

Anm. Soviel dem Verfasser bekannt ist, hat Hr. v. Grothuß zuerst in dem Schwiggerschen Journal, diese eben so sinnreiche als einfache Erklärung gegeben. Mehrere ähnliche Farben-Erscheinungen hat Hr. v. Göthe in seiner Farbenlehre erörtert; auch findet man manches dahin gehörige in den physikalischen Zeitschriften der letzten Jahre zerstreut.

Register.

(Die römischen Zahlen bedeuten die Capitel, die deutschen die Paragraphen).

A.

Abstoßen, elektrisches, XXXII. 3.
Abweichung der Magnetnadel XXXVIII. 3. 4. 5. — der Lichtstrahlen wegen der Gestalt des Glases XLIV. 18. a. — wegen der Farbenzerstreuung. XLIV. b.
Achse des Auges XL. 1. — des optischen Spiegels XLI. 6. — des optischen Glases XLII. 12. N. 4.
Adernhaut des Auges XL. 1.
Anker des Magnets XXXVII. 4.
Anstoß, elektrischer, XXXII. 3.
Anziehen und Abstoßen, elektrisches, XXXII. 3. N. 5.
Apertur des Glases XLII. 12. N. 5.
Aequator, magnetischer, XXXVIII. 10.
Armatur des natürlichen Magnets XXXVII. 17
Astronomische Strahlenbrechung XLII. 7.
Aufsucher, eine Art Fernrohr, XLIII. 9.
Auge, Beschaffenheit und Theile desselben, XL. 1.
Augengläser XLIII. 1.
Auslader der Electricität XXXIV. 10. — Henlyscher allgemeiner XXXIV. 17.

B.

Barometer, Phosphoresciren derselben, XXXIII. 9.
Batterie, elektrische, XXXIV. 15. — Versuche mit derselben XXXIV. 18. — Voltaische XXXVI. 6 — 14.
Beugung des Lichtes XXXIX. 9.

Bewegung, tägliche des Magnets, XXXVIII. 6. — scheinbare der Körper XL. 16.
Bilder, wirkliche oder physische, geometrische, XLIII. 4. — der Gegenstände bei Spiegeln, XLI. 9.
Blau, eine einfache Grundfarbe, XLVI. 3.
Blendung XLIII. 2.
Bousole XXXVIII. 2.
Braun sind die dunklen Töne von Gelb XLVI. 5.
Brechbarkeit des Lichts bewirkt eine Farbenzersetzung XLIV. 13. — die (mittlere) der Strahlen XLIV. 7. Anm.
Brechung des Lichtes XXXIX. 9. — in durchsichtigen Körpern XLII. — Grundgesetz ders. XXXIX. 3. — Versuche über dieses Gesetz XXXIX. 4. XLII. 5. — allgemeine Erscheinungen ders. XLII. 7. — durch Plangläser mit parallelen Flächen XLII. 9. — durch sphärische Gläser XLII. 10. — sie ist unabhängig von der Farbenzerstreuung XLV. 15.
Brechungsverhältnisse XLII. 3. 6. N. 6. — durchs Glasprisma XLIV. 5 — 9. XLV. 19 — 26. — jedes giebt eine besondere Farbe XLIV. 9.
Brechungsvermögen bei verschiedenen Körpern verschieden XLII. 6.
Brennglas XLII. 14.
Brennpunkt der Sammelspiegel XLI. 7. — doppelter der Sammelgläser XLII. 13. — negativer der Zerstreuungsgläser XLII. 26. — der Zerstreuungsspiegel XLI. 13. — der durch optische Gläser gebrochnen Farben XLIV. 17.
Brennraum XLI. 7. XLII. 14.
Brennspiegel XLI. 7.
Brennweite der Spiegel XLI. 7. — negative XLI. 12. — die Brennweite aufzusuchen XLI. 14. 22. — Formeln, sie durch Rechnung zu finden XLI. 16 — 19. — die der Gläser XLII. 13. 15. — der Brillen XLII. 19. — die des Sammelglases zu bestimmen XLII. 25. — zwiefache der Zerstreuungsgläser XLII. 26. — negative XLII. 26. — Verhältniß der Brennweite eines Glases zu seiner Vergrößerung XLII. 20.
Brille XLII. 19.

C.

Camera clara XLII. 24. — lucida XLII. 24. — obscura XLII. 23.
Centrirte Gläser XLII. 12. N. 4.
Centrum, optisches, XLII. 12. N. 4.
Collectivglas s. Sammelglas.
Collectivspiegel XLI. 8.

Condensator XXXV. 9 — 12.
Conductor XXXII. 5. 6.
Conservations-Brillen XLII. 19.
Convexspiegel s. Zerstreuungsspiegel.

D.

Declinationsnadel XXXVIII. 1 — 6. — verschiedene Namen ders. nach verschiedenen Zwecken XXXVIII. 2.
Declinatorium XXXVIII. 2.
Deutlichkeit des Sehens hängt von der Entfernung der Gegenstände ab. XL. 11. N. 2. — die des Fernrohrs XLIII. 3. 4.
Dioptrik XLII. — Erklärung des Begriffes XXXIX. 9. — Grundgesetz ders. XLII. 3. — Versuche und Bemerkungen darüber XLII. 4 — 6. — mathematische Theorie der Dioptrik XLII. 29 — 34.
Doppelstrich beim Magnetischmachen XXXVII. 11.
Drehwage, elektrische, XXXV. 14.
Dunkelheit XXXIX. 20.
Durchmesser, scheinbarer, XL. 8.
Durchsichtigkeit, Bedingung derselben, XLII. 2.
Dynamometer XLIII. 14.

E.

Einfallsloth XLI. 4.
Einfallswinkel XLI. 4.
Elektricität, Erklärung des Wortes, XXXII. 1. 3. — Erscheinungen derselben XXXII. 2. — ihre chemischen Wirkungen XXXII. 15. — Erscheinungen im Finstern XXXIII. 7. — in verdünnter Luft XXXIII. 8. — Hypothese Franklins zur Erklärung derselben, XXXIII. 11. 12. — Symmers XXXIII. 13. — positive und negative Elektricität XXXIII. 1. — beide Arten entstehen zugleich XXXIII. 2. — Gesetz aus ihrem Verhalten gegen einander XXXIII. 4. — sie heben einander auf XXXIII. 5. — gebundne Elektricität XXXIII. 13. — verstärkte XXXIV. 6 — 18. — Galvanische XXXVI. 3 — 11. — thierische XXXVI. 4. 5.
Elektrische Wage Coulombs, XXXV. 13 — 17.
Elektrisirmaschine XXXII. 2.
Elektrometer XXXII. 11. — Henlys Quadrant-Elektrometer XXXII. 11.
Elektrophor XXXV. 2. — Erregung seiner Elektricität XXXV. 3. — Erscheinungen an demselben XXXV. 3. — Mittel seine Elektricität zu verstärken XXXV. 6. — Versuche mit demselben XXXV. 7. 8.

Elektroskop XXXII. 11.
Entfernung der Gegenstände wird durch das Auge nicht empfunden XL. 10. — Mittel zur Beurtheilung derselben XL. 11. — die Richtigkeit des Urtheils nimmt mit der Größe der Entfernung ab. XL. 12.
Entladung der elektrischen Flasche XXXIV. 9. 11.
Erdfernrohr LXIII. 10. 11.
Erleuchtung XXXIX. 10.
Erleuchtungsspiegel XLI. 8.
Erregung der Elektricität XXXVI. 1 — 14.
Erreger XXXVI. 11.
Erscheinungen, elektrische im Finstern, XXXIII. 7 — 10. — erklärt nach Franklin XXXIII. 11 — 12. — nach Symmer XXXIII. 13. XXXIV. 4. 5. — Grundgesetz derselben XXXII. 10.

F.

Farben des vom Körper zurückgeworfenen Lichtes XXXIX. 12. — mancher Körper läßt andere durch, als er zurückwirft XLII. 1. — Newtons Hypothese über die der Körper XLIV. 15. — jede durch Brechung in einem optischen Glase entstandene hat ihren eigenen Brennpunkt XLIV. 17. — gesättigte Farben XLVI. 5. — ergänzende und entgegengesetzte XLVI. 12. — zufällige physiologische XLVI. 28 — 30.
Farbenkreis XLVI. 7.
Farbenkreisel XLVI. 8. — Versuche mit demselben XLVI. 9 — 13.
Farbenlehre, dioptrische, XLIV. — mathematische Zusätze XV. 17 — 26.
Farbentheorie, allgemeine Bemerkungen über die Newtonische, XLIV. 16.
Farbenzerstreuung ist unabhängig von der Brechung XLV. 15. — Wirkung ders. bei optischen Gläsern XLV. 17.
Fernröhre, gemeine, XLIII. 7 — 15. — dioptrische katoptrische XLIII. 1. — Holländische, Galliläische XLIII. 7. — achromatische XLV. 13 — 16.
Feuchtigkeit, gläserne, des Auges XL. 1.
Flüssigkeit, wäßrige, des Auges XL. 1.
Finsterniß XXXIX. 20.

G.

Galvanismus XXXVI. 3 — 14. — Entdeckung desselben XXXVI. 4. — wirksamste Erregung desselb. XXXVI. 4. — Merkwürdigste Versuche XXXVI. 7. — gewisse Wir-

Wirkungen ändern sich mit der Höhe, andere mit der Breite der Platten XXXVI. 8. — Anwendung der Symmerschen Hypothese XXXVI. 11.
Galvanische Kette XXXVI. 4.
Gelb, eine einfache Grundfarbe, XLVI. 3.
Gesichtsfeld eines Fernrohrs XLIII. 3. — wie es kann vergrößert werden XLIII. 9. — wie es zu messen ist XLIII. 15.
Gestalt, sichtbare ist nicht die wahre XL. 14. — Mittel zur Beurtheilung der letztern XL. 14.
Glas, sein Verhalten gegen Elektricität XXXII. 7. — Erscheinungen des gebrochnen Lichts durch geschliffene Gläser XLII. 8. — durch plane XLII. 9. — sphärische oder Linsengläser XLII. 10 — 12. — Erscheinungen durch dieselben XLII. 10 — 34. — ihr optisches Centrum XLII. 12. N. 4. — ihre Achse XLII. 12. N. 4. — ihre Oeffnung XLII. 12. N. 5. — ihre vordere und hintere Fläche XLII. 12. N. 6.
Glaselektricität XXXIII. 11 — 13.
Glasprisma XLIV. 1. — seine Erscheinungen, subjective oder positive XLIV. 2. — objective XLIV. 3. — Erklärung der Erscheinungen XLIV. 4 — 12. — Brechungsverhältniß im Glasprisma XLIV. 5 — 9. XLV. 19 — 26.
Grau, Erklärung dieser Farbe, XLVI. 4.
Größe, sichtbare oder scheinbare XL. 8. — bestimmt die Entfernung der Gegenstände XL. 11. — und deren Größe XL. 13.
Grundfarben XLVI. 3.

H.

Halbmesser des optischen Spiegels XLI. 6.
Halbschatten XXXIX. 20.
Harzelektricität XXXIII. 1. 13.
Hauptschnitt eines Rhomboides XLVI. 22.
Helligkeit XXXIX. 19. XLIII. 3. 4.
Hinterfläche des Glases XLII. 12. N. 6.
Hinterkammer des Auges XL. 1.
Hohlspiegel s. Sammelspiegel.
Hornhaut, weiße u. durchsichtige, XL. 1.

J.

Inclinationsnadel XXXVIII. 7 — 11.
Inclinatorium XXXVIII. 7.
Inflection des Lichtes XXXIX. 9.

Irrthümer, optische von Newton, XLV. 2. — Newtons XLV. 3 — 5 — Eulers XLV. 9 — 11.
Isolatorium XXXII. 9.
Isoliren. XXXII. 9.

K.

Kasten, perspectivischer oder optischer, XLII. 24.
Katoptrik XXXIX. 9. XLI. — Grundgesetz derselb. XLI. 4. — mathematische Zusätze zu ders. XLI. 15 — 22. — Fundamentalformel zur Lösung aller Aufgaben XLI. 18.
Kepplers Sternrohr XLIII. 8.
Körper, selbstleuchtende, erleuchtete, durchsichtige, undurchsichtige XXXIX. 5. — elektrische (elektrisirte) XXXII. 4. 8. — unelektrische XXXII. 8. — weiße, schwarze XXXIX. 12 — sehr dünne zerlegen die Farben XLIV. 14.
Krystall-Linse XL. 1.
Kurzsichtigkeit XL. 3.

L.

Lage eines Gegenstandes gegen andere, ein Mittel zur Beurtheilung seiner Entfernung XL. 11. und seiner wahren Größe XL. 13.
Leiter der Elektricität XXXII. 8. XXXVI. 11. — erste Leiter XXXII. 5. 6. — Zwei Arten derselben XXXVI. 11. — ihre Gestalt hat Einfluß auf die Wirkung XXXII. 12. — die vorzüglichsten XXXII. 8.
Lesegläser XLII. 19.
Licht XXXIX. 4. — Mechanik des geradlinigen XXXIX. 5. — Gesetz für die Bewegung desselben XXXIX. 6. — Beugung und Zurückwerfung desselb. XXXIX. 9. — Schwächung desselb. XXXIX. 12. — Vorstellung zur Erklärung seiner verschiedenen Farben XXXIX. 14. — seine Geschwindigkeit XXXIX. 15. — Gesetz für die Abnahme seiner Stärke XXXIX. 17. — Umstände wovon diese abhängt XXXIX. 18. — Zusammenhang des Lichtes mit der Wärme XXXIX. 22. — Zurückwerfung desselb. durch Spiegelflächen XLI. — deren Grundgesetz XLI. 4. — Brechung des Lichtes in durchsichtigen Körpern. XLII. — dessen Grundgesetz XLII. 3. — nebst Versuche XLII. 4. — und Bemerkungen XLII. 6 — Umstände, wovon die Brechung abhängt XLII. 6. N. 5 — wichtigste Brechungsverhältnisse XLII. 6. N. 6. — Licht und Schatten Hülfsmittel zur Beurtheilung der wahren Gestalt XL. 14.
Lichtsauger XXXIX. 14.
Lichtstrahl, Erklärung des Wortes, XXXIX. 7. — Brechung

desselben XLII. 3 — 6. — seine Ausbreitung dabei XLII. 6. N. 4. — Zurückstrahlung dabei XLII. 6. N. 3. — sein Weg in der Atmosphäre XLII. 7.
Lichtenbergische Figuren XXXV. 7.
Linsen XLII. 11. mikroskopische XLII. 20.
Linsengläser XLII. 10.
Lorgnette XLII. 28.
Loupe XLII. 20. — zusammengesetzte XLII. 24.
Luft wird beim Ausströmen der Elektricität aus Spitzen bewegt XXXII. 13.
Luftspiegelung XLII. 7.

M.

Maaß der Farbenzerstreuung XLV. 21.
Magnet, allgemeine Eigenschaften dess. XXXVII., natürlicher, künstlicher XXXVII. 1. Verhalten dess. für sich XXXVII. 8., gegen Eisen XXXVII. 2., gegen andere Magnete XXXVII. 9. 10.
Magnetische Kraft am stärksten an den Polen XXXVII. 3. Mittheilung derselben XXXVII. 11. 12. Vertheilung derselb. XXXVII. 14. Sie wird durch Rost geschwächt, durch starkes Erhitzen zerstört XXXVII. 7. Magnetischer Wirkungskreis XXXVII. 14. Magnetisches Magazin XXXVII. 13. Magnetischer Meridian XXXVIII. 3.
Magnetismus, Grundgesetz dess. XXXVII. 5., seine Mittheilung XXXVII. 11 — 13. Erregung des ursprünglichen XXXVIII. 14. Magnetismus der Erdkugel XXXVIII. 12 — 14.
Magnetnadel XXXVII. 8., ihre Abweichung XXXVIII. 4 6. sie ist nicht an allen Orten gleich XXXVIII. 4. 5. ihre Neigung ist an verschiedenen Orten verschieden XXXVIII. 10., ändert sich mit der Zeit XXXVIII. 11.
Materie, magnetische XXXVII. 15., elektrische XXXII. 4.
Menisken XLII. 11. N. 1. u. 2.
Meridian, magnetischer XXXVIII. 3.
Metall, sein Verhalten gegen die Elektricität XXXII. 7.
Mikroskop einfaches XLII. 20. — Schätzung der Vergrößerung desselb. XLII. 20. 21. — zusammengesetztes XLIII. 16 — 18. Wirkung des Sonnenmikroskops XLII. 22.
Mittelpunkt, geometrischer optischer der Spiegel. XLI. 6. — der Gläser XLII. 12. N. 4. — mathematische Theorie über den optischen der Gläser XLII. 17.
Mittheilung der Elektricität XXXII. 14. XXXIV. 1. 2. XXXV. 4.

N.

Neigung der Magnetnadel XXXVIII. 7.
Nichtleiter der Elektricität, die vorzüglichsten, XXXII. 8.
Nordlicht, elektrisches, XXXIII. 8.
Nordpol des Magnets XXXVII. 8. — magnetischer der Erde XXXVIII. 12.

O.

Objectivglas XLIII. 1. — mit farbenlosen Bildern XLV. 13.
Objectivspiegel XLIII. 1.
Ocularglåser XLIII. 1.
Oeffnung des Spiegels XLI. 6. — des Glases XLII. 12. N. 5.
Optik im weitern und engern Sinne XXXIX. 2. — erste Gründe der letztern XXXIX.

P.

Perspective, geometrische Luftperspektive, XL. 15.
Perspectivischer Kasten XLII. 24. N. 8.
Photometer, Photometrie, XXXIX. 21.
Planglåser, Erscheinungen der Lichtbrechung durch dieselben, XLII. 9.
Polarisation des Lichtes XLVI. 15 — 27. — durch Zurückstrahlung XLVI. 16 — 20. — durch Brechung XLVI. 21 — 24. — Farbenzerstreuung bei der Polarisation XLVI. 26. — Eigenthümliche Farbenerscheinungen bei derselben XLVI. 27.
Polaritåt des Magnets XXXVII. 8.
Pole des Magnets XXXVII. 3. 4. 6. 8. — freundschaftliche und feindliche XXXVII. 9.
Prisma s. Glasprisma.
Pupille des Auges XL. 1.

Q.

Quadrantelektrometer, Henlys, XXXII. 11.

R.

Rad, elektrisches XXXII. 13.
Reflection des Lichtes XXXIX. 9. s. Zurückwerfung.
Refraction des Lichtes XXXIX. 9. s. Brechung.
Regenbogen, ist aus der Farbenzerstreuung zu erklåren XLIV. 20.
Regenbogenhaut XL. 1.

Relbezeug XXXII. 2.
Roth ist eine einfache Grundfarbe XLVI. 3.

S.

Sammelgläser XLII. 11. 13. — Erscheinungen durch dieselben XLII. 13 — 25. — ihre Eigenschaften XLII. 16 bis 18. — Erscheinungen, wenn das Objekt hinter dem Glase steht. XLIII. 5.
Sammelspiegel XLI. 6. — Erscheinungen durch dies. XLI. 7. 8. — Erscheinungen in Rücksicht auf die entstehenden Bilder der Gegenstände XLI. 9. — Erklärung ders. XLI. 10. 11. 16 — 21. — Verschiedene Benennungen der Sammelspiegel nach verschiedenem Gebrauch XLI. 7. 8. — Sammelspiegel von Glas. XLI. 6.
Säule, Voltaische, XXXVI. 6 — 14. — trockne XXXVI. 10.
Schatten, Kern- und Halbschatten, XXXIX. 20. — Schatten und Licht-Hülfsmittel zur Beurtheilung von der wahren Gestalt der Körper XL. 14.
Schiffscompaß XXXVIII. 2.
Schlagweite XXXIV. 1.
Sehen, Erklärung desselb. XL. 2.
Sehwinkel XL. 8. 9.
Sichtbarkeit, Bedingungen ders. XL. 9.
Sonnenmikroskop XLII. 22.
Spiegel, Glas-Metallspiegel, XLI. 2. — ebne, sphärische, parabolische, elliptische, kegelförmige, cylindrische XLI. 3. — Erklärung der Erscheinungen bei ebnen XLI. 5. — bei sphärischen XLI. 6. — Beschreibung der sphärischen XLI. 6.
Spiegelteleskop. XLV. 6 — 8.
Spiegelung polirter Flächen XLII. 6. N. 3.
Statik, elektrische, XXXIV. 2.
Sternrohr, Kepplersches XLIII. 8. — Mittel sein Gesichtsfeld zu vergrößern XLIII. 9.
Strahl, Theorie von seiner Brechung, wenn er aus der Achse eines Glases kommt XLII. 29 — 31. — wenn er aus einem Punkte außer der Achse kommt XLII. 32. 34.
Strich, einfacher beim Magnetisiren XXXVII. 11.
Südpol des Magnets XXXVII. 8. — magnetischer der Erde XXXVIII. 12.

T.

Taschenperspectiv XLIII. 7.
Täuschungen, optische sind falsche Urtheile XL. 17.
Teleskop. s. Fernrohr.

Staatsbibliothek München

U.

Ueberträger, elektrischer XXXII. 14.
Undeutlichkeit in optischen Wirkungen, ihre Quellen XLIV. 18.

V.

Vereinigungsweiten XLI. 18.
Vergrößerung zu finden, eines Fernrohrs XLIII. 14. — eines Mikroskops XLIII. 18.
Vergrößerungsgläser XLII. 20.
Vergrößerungsmesser, Ramsdens, XLIII. 14.
Vergrößerungszahl XLIII. 3.
Verstärkungsflaschen der Elektricität XXXIV. 6 — 8.
Vertheilung der Elektricität XXXV. 4.
Voltas Säule s. Galvanismus.
Vorderfläche eines optischen Glases XLII. 12. N. 6.
Vorderkammer des Auges XL. 1.

W.

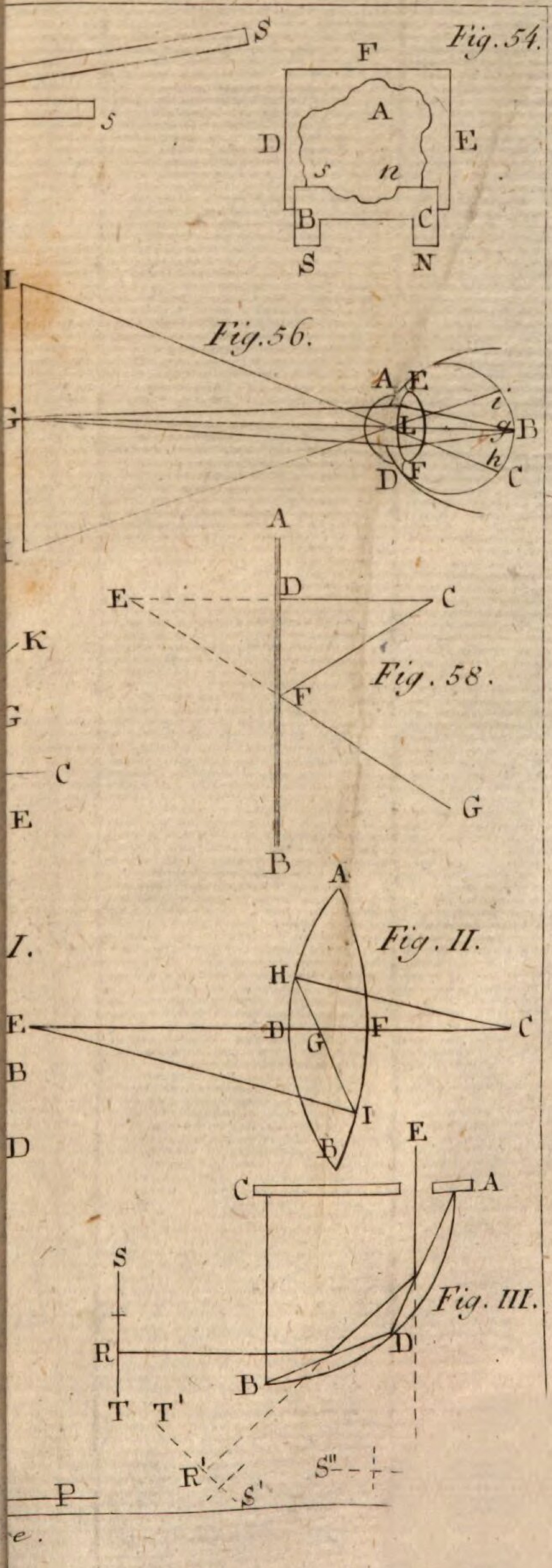
Wage, Coulombs elektrische XXXV. 13 — 17.
Wasser ist nothwendig zur Erregung des Galvanismus XXXVI. 4 — wird durch die Voltaische Säule zersetzt XXXVI. 7.
Weiß, kann nie aus einer Mischung von Farbestoffen entstehen XLVI. 8.
Weitsichtigkeit XL. 3. — Mittel dagegen XLII. 19.
Winkel, brechender, XLIV. 1.
Wirkungskreis, elektrischer XXXIV. 3. 5.

Z.

Zauberlaterne XLII. 24. N. 6.
Zerstreuungsgläser, Erscheinungen ders. XLII. 26. 27. — negativer Brennpunkt und Brennweite ders. XLII. 26. — Erscheinungen, wenn das Objekt hinter dem Glase steht XLIII. 6.
Zerstreuungsspiegel XLI. 6. — ihre Erscheinungen XLI. 12. — Erklärung ders. XLI. 13. 17.
Zurückwerfung des Lichts von Spiegeln XLI.
Zurückwerfungswinkel XLI. 4.
Zusammensetzung optischer Gläser XLIII. 1. 2. 4.

Bayerische
Staatsbibliothek
München

Verbesserungen.

Seite 57 Zeile 15 v. o. statt Codensator lies Condensator.
— 59 — 9 v. u. st. sie l. er.
— 59 — 8 v. u. st. ihr l. ihm.
— 61 — 6 v. o. st. Elektricität l. Elasticität.
— 62 — 8 v. o. st. bis l. und.
— 64 — 5 v. u. st. 20° l. 18°.
— 77 — 1 v. u. st. Glas l. Gas.
— 81 — 14 v. o. st. 1715 u. 1716 l. 1815 u. 1816.
— 104 — 4 v. u. st. an l. von.
— 147 — 5 v. u. st. nun l. nur.
— 150 — 14 v. o. st. convex l. concav.
— 150 — 16 v. o. st. concav l. convex.
— 166 — 11 v. o. st. Formel l. Größe.
— 201 — 8 v. u. st. Wallaston l. Wollaston.
— 215 — 10 v. u. st. dreiunddreißigstes l. dreiundvierzigstes.
— 255 — 6 v. u. st. hellen l. halben.
— 257 — 5. 8 10. v. o. st. LM l. lM.
— 260 — 8 v. u st. le l. la.
— 260 — 11 v. u. st. Huighes l. Huighens.
— 262 — 2 v. u. st. mittelbaren l. mittlern.
— 266 — 6 v. o. st. welche l. welches.
— 269 — 10 v. o. st. Rewton l. Newton.
— 317 — Zu dem Worte Register setze man hinzu: über den zweiten Theil.

Tab. 5.